



TUGAS AKHIR - RE 184804

**PENYISIHAN KROMIUM (VI) OLEH ECENG
GONDOK DENGAN *RESPONSE SURFACE
METHODOLOGY DESIGN BOX* BEHNKEN**

AIDA SEFANYA RAHMADANI

0321154000064

DOSEN PEMBIMBING

Harmin Sulistyoning Titah, ST, MT, Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - RE 184804

**PENYISIHAN KROMIUM (VI) OLEH ECENG
GONDOK DENGAN *RESPONSE SURFACE
METHODOLOGY DESIGN BOX* BEHNKEN**

AIDA SEFANYA RAHMADANI

0321154000064

DOSEN PEMBIMBING

Harmin Sulistyoning Titah, ST, MT, Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2019



FINAL PROJECT - RE 184804

***CHROMIUM (VI) REMOVAL BY WATER
HYACINTH USING RESPONSE SURFACE
METHODOLOGY IN DESIGN BOX BEHNKEN***

AIDA SEFANYA RAHMADANI

03211540000064

DOSEN PEMBIMBING

Harmin Sulistyaning Titah, ST, MT, Ph.D

DEPARTEMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Environmental and Geo Engineering
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

LEMBAR PENGESAHAN

**Penyisihan Kromium (VI) oleh Eceng Gondok dengan
Response Surface Methodology Design Box Behnken**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelara Sarjana Teknik

pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh:

AIDA SEFANYA RAHMADANI

NRP. 03211540000064

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 19750523 200212 2 001



Penyisihan Kromium (VI) oleh Eceng Gondok dengan *Response Surface Methodology Design Box Behnken*

Nama Mahasiswa : Aida Sefanya Rahmadani
NRP : 03211540000064
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T.,
Ph.D.

ABSTRAK

Penggunaan Cr pada kegiatan industri dan rumah tangga berdampak pada terganggunya lingkungan perairan. Salah satu metode pengolahan limbah yang efektif, murah, dan ramah lingkungan untuk mengurangi konsentrasi Cr adalah fitoremediasi. Tujuan penelitian adalah untuk menentukan efisiensi penyisihan logam berat kromium dengan bantuan tumbuhan eceng gondok. Dan juga dilakukan pemodelan menggunakan *Design Box Behnken* untuk mendapatkan hasil optimasi yang tepat pada proses penyisihannya.

Digunakan 3 jenis variabel dalam proses fitoremediasi ini yakni variasi konsentrasi kromium, lama waktu penyisihan kromium, dan berat tumbuhan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) yang digunakan. Variasi konsentrasi kromium yang didapatkan berdasarkan *Design Box Behnken* adalah 0,75; 2,88; dan 5,0 mg/L. Untuk lama waktu penyisihan yang didapatkan adalah 0; 7,5; dan 14 hari. Sedangkan untuk berat tumbuhan eceng gondok sebanyak 200, 300, dan 400 g. Parameter yang akan diukur adalah penyisihan kromium, pH, suhu, dan laju evapotranspirasi.

Setelah dilakukan penelitian selama 14 hari, didapatkan hasil efisiensi penyisihan kromium oleh eceng gondok dari 3 variasi konsentrasi. Penyisihan konsentrasi Cr^{6+} sebesar 0,75 mg/L dengan berat tumbuhan 400 g mampu menurunkan Cr^{6+} hingga efisiensi penyisihan mencapai 12,65%. Untuk penyisihan konsentrasi Cr^{6+} sebesar 2,88 mg/L dengan berat tumbuhan 400

g mampu menurunkan Cr^{6+} hingga efisiensi penyisihan mencapai 24,02%. Sedangkan untuk penyisihan konsentrasi Cr^{6+} sebesar 5 mg/L dengan berat tumbuhan 400 g mampu menurunkan Cr^{6+} hingga efisiensi penyisihan mencapai 30,14%.

Laju evapotranspirasi terbesar adalah reaktor dengan konsentrasi Cr^{6+} sebesar 0,75 mg/L dan berat tumbuhan sebanyak 400 g dikarenakan faktor kerapatan tumbuhan terbesar dan juga konsentrasi Cr paling pekat. Perhitungan statistik menggunakan *Response Surface Methodology Design Box Behnken* menghasilkan nilai optimasi yaitu pada variasi konsentrasi 4,81 mg/L; lama waktu penyisihan 14 hari; dan berat tumbuhan 366,2 g dengan estimasi penyisihan kromium mencapai 33,59% dimana nilai desirabilitas mencapai 1.

Kata Kunci: Fitoremediasi, Tumbuhan eceng gondok, Kromium, Desain *box behnken*

Chromium (VI) Removal by Water Hyacinth Using Response Surface Methodology in Design Box Behnken

Name of Student : Aida Sefanya Rahmadani
NRP : 03211540000064
Study Programme : Environmental Engineering
Supervisor : Harmin Sulistiyaning Titah, S.T.,
M.T., Ph.D.

ABSTRACT

The usage of chromium in industrial and household activities give high impact on the disruption of the aquatic environment. One of the most effective, inexpensive, and environmentally-friendly waste treatment methods to reduce chromium concentration is phytoremediation. This study aims to determine the efficiency of chromium as a heavy metal removal by water hyacinth, then inserted to *Design Box Behnken* model to get the most optimum results of the removal process.

In this research, there were 3 variables were used in the phytoremediation process, which were chromium concentration, times needed to remove chromium, and the weight of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) required. The variation of chromium concentration obtained based on *Behnken Design Box*, which were 0.75; 2.88; and 5.0 mg/L. Times variations obtained are 0; 7.5; and 14 days. As for the weight of water hyacinth varies 200; 300; and 400 g. Parameters to be measured in this study are evapotranspiration rate, pH, and temperature.

After 14 days of research, the result of removal efficiency of chromium by water hyacinth was obtained from three variations of concentration. The concentration removal of 0,75 mg/L with weight of 400 g of plants was able to reduce the Cr⁶⁺ until 12,65%. As for the variation of 2,88 mg/L with weight of 400 g was able to reach 24,02% removal efficiency. And for variation of Cr⁶⁺ removal

concentration 5 mg/L with weight of 400 g, was able to reduce Cr⁶⁺ until 30,14%.

The largest evapotranspiration rate was reactor with concentration of Cr⁶⁺ of 0,75 mg/L and weight of 400 g. This is caused by density of the water hyacinth, it also has the minimum metal level and the placement of the reactor was the nearest to sun exposure.

Statistical calculations using Response Surface Methodology Box Behnken Design give the result for the optimization which were a concentration of Cr⁶⁺ 4.81 mg/L; time removal 14 days; and plant weight 366,2 g with an estimated chromium reaching 33.59% where the value of desirability is 1.

Kata Kunci: Chromium, Box Behnken Design, Phytoremediation, Water Hyacinth

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua, khususnya pada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Penyisihan Kromium oleh Eceng Gondok dengan *Response Surface Methodology Design Box Behnken***”. Laporan ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan dari mata kuliah “Tugas Akhir (TA)” yang harus ditempuh oleh setiap mahasiswa Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir (TA), terima kasih atas bimbingan dan kesabarannya dalam membimbing saya untuk penyelesaian tugas ini
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoediharjo, M.ScEs., Ibu Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc., Ibu Dr. Ir. Ellina Sitepu Pandebesie, M.T., Bapak Abdu Fadli Assomadi, S.Si., M.T., dan Ibu Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T., selaku dosen pengarah
3. Raka Navy, Hendriani Firliona, Nadira Clarissa, Crisda Yana, Mahdiyah Anes, dan Kita Pritasari yang selalu memberi semangat kepada saya
4. Teman-Teman Teknik Lingkungan 2015 atas bantuan dan motivasinya selama proses pelaksanaan tugas akhir ini
5. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu atas dukungan serta kerjasama yang telah diberikan

Serta tak lupa saya ucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada kedua orang tua yang telah membantu saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penyusunan Tugas Akhir ini telah diusahakan semaksimal mungkin, namun sebagaimana manusia biasa tentunya masih terdapat kesalahan. Untuk itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	4
1.5 Ruang Lingkup	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pengertian Logam Berat.....	5
2.1.1 Logam Berat Kromium (Cr)	5
2.2 Pencemaran Logam Berat	6
2.3 Mekanisme Proses Fitoremediasi	7
2.4 Tumbuhan Eceng Gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>).....	8
2.5 Optimasi <i>Response Surface Methodology</i> (RSM)	10
2.6 <i>Box-Behnken Design</i>	11
2.7 Evapotranspirasi.....	12
2.8 Penelitian Terdahulu.....	14
BAB III METODE PENELITIAN	15

3.1 Deskripsi umum	15
3.2 Kerangka Penelitian.....	15
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian	17
3.4 Tahapan Penelitian.....	17
3.4.1 Ide Penelitian	17
3.4.2 Studi Literatur	18
3.4.3 Penentuan Variabel dan Parameter	18
3.4.4 Persiapan Alat dan Bahan	19
3.5 Persiapan Penelitian.....	19
3.6 Penelitian Pendahuluan.....	23
3.7 Penelitian Utama	25
3.8 Analisis Data dan Pembahasan	27
3.9 Kesimpulan dan Saran	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Tahap Propagasi	29
4.2 Tahap Aklimatisasi.....	31
4.3 Penyisihan Kromium Oleh Eceng Gondok	31
4.4 Analisis pH dan Suhu	38
4.5 Analisis Evapotranspirasi	42
4.6 Analisis Response Surface Methodology	44
4.7 Nilai Optimum Penyisihan Kromium oleh Eceng Gondok	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA.....	57
LAMPIRAN	63

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Baku Mutu Limbah Cair Bagi Usaha dan atau Kegiatan Limbah Penyamakan Kulit	7
Tabel 3. 1 Metode Analisis pada Parameter Penelitian	19
Tabel 3. 2 Reaktor yang Digunakan Saat Penelitian	22
Tabel 4. 1 Hasil Analisis Berdasarkan Konsentrasi, Waktu, dan Berat dari <i>Design Expert</i> 6.0.10.....	45
Tabel 4. 2 Hasil Analisis Varian (ANOVA).....	46
Tabel 4. 3 Hasil Fit Summary	46

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Contoh Grafik Surface Design Expert	11
Gambar 2. 2 Box-Behnken untuk Tiga Faktor	12
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian	17
Gambar 3. 2 (a) Reaktor yang digunakan pada tahap propagasi dan (b) reaktor tahap aklimatisasi dan penelitian utama.....	20
Gambar 3. 3 Cara memasukkan variabel ke dalam program Design Expert.....	26
Gambar 3. 4 Cara memasukkan parameter ke dalam program Design Expert.....	26
Gambar 3. 5 Hasil optimasi pada program Design Expert	27
Gambar 4. 1 Panjang Akar Eceng Gondok	30
Gambar 4. 2 Lebar Daun Eceng Gondok.....	30
Gambar 4. 3 Tumbuhan eceng gondok pada tahap aklimatisasi	31
Gambar 4. 4 Penyisihan kromium oleh eceng gondok hingga hari ke-7	32
Gambar 4. 5 Penyisihan kromium oleh eceng gondok hingga hari ke-14	33
Gambar 4. 6 Efisiensi Penyisihan Kromium pada hingga hari ke-7	35
Gambar 4. 7 Efisiensi Penyisihan Kromium pada hingga hari ke-14	36
Gambar 4. 8 Tumbuhan eceng gondok mulai tumbuh bunga dan menguning	37
Gambar 4. 9 Pengamatan pH pada konsentrasi awal Cr sebesar 0,75 mg/L	39
Gambar 4. 10 Pengamatan pH pada konsentrasi awal Cr sebesar 2,88 mg/L.....	39
Gambar 4. 11 Pengamatan pH pada konsentrasi awal Cr sebesar 5 mg/L.....	40
Gambar 4. 12 Pengamatan suhu pada konsentrasi awal Cr sebesar 0,75 mg/L.....	41

Gambar 4. 13 Pengamatan suhu pada konsentrasi awal Cr sebesar 2,88 mg/L.....	42
Gambar 4. 14 Pengamatan suhu pada konsentrasi awal Cr sebesar 5 mg/L.....	42
Gambar 4. 15 Laju evapotranspirasi pada konsentrasi awal Cr sebesar 0,75 mg/L.....	43
Gambar 4. 16 Laju evapotranspirasi pada konsentrasi awal Cr sebesar 2,88 mg/L.....	44

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan meningkatnya kemajuan di sektor industri, semakin meningkat pula masalah pencemaran di Indonesia. Masuknya limbah industri ke dalam suatu perairan dapat menyebabkan menurunnya kualitas perairan tersebut (Nugroho, 2006). Dengan adanya peningkatan akan permintaan pasar terhadap kegiatan industri, hal ini berbanding lurus dengan peningkatan jumlah limbah yang dihasilkan. Tidak dapat dipungkiri bahwa hingga saat ini masih banyak perusahaan industri yang membuang limbahnya langsung ke badan air tanpa proses pengolahan terlebih dahulu.

Pencemaran air yang disebabkan oleh logam berat telah menjadi perhatian utama bagi para ahli kimia dan lingkungan (Etorki, 2014). Logam berat merupakan suatu masalah yang diperhatikan karena tingkat toksisitasnya yang memiliki kecenderungan bioakumulasi dan menjadi ancaman terhadap kehidupan manusia dan lingkungan (Dorris *et al.*, 2000). Menghilangkan logam berat beracun adalah masalah yang cukup menantang bagi lingkungan. Limbah industri yang tidak diolah sebelum memasuki badan air merupakan suatu masalah yang cukup serius. Salah satu contoh limbah industri yang dapat menimbulkan kerusakan lingkungan jika logam berat yang terkandung di dalamnya cukup besar adalah kromium (Cr). Air limbah industri sering terkontaminasi berbagai senyawa seperti: fenol, kromium, padatan tersuspensi, senyawa organik terlarut, dll, dan sangat penting bahwa itu harus diperlakukan ke batas yang dapat diterima lingkungan (Olafadehan dan Aribike, 2000).

Khususnya logam berat krom (Cr) digunakan dalam industri seperti pelapisan krom, pabrik cat, pabrik tinta, pabrik penyamakan kulit, pabrik tekstil. Industri penyamakan kulit menggunakan krom dalam proses penyamakan krom (*tanning*) bertujuan untuk mengubah fibril-fibril pada kolagen kulit menjadi masak dan berikatan dengan bahan penyamak sehingga kulit menjadi stabil dan tahan terhadap pengaruh fisik, kimia, dan mikrobiologis (Purnama, 2001). Krom (Cr) merupakan bahan penyamak kulit

yang paling banyak digunakan oleh industri penyamakan kulit dan sekitar 85% kulit dunia disamak menggunakan krom (Bacordit *et al.*, 2014).

Industri penyamakan kulit merupakan salah satu industri yang menghasilkan limbah berbahaya berupa padatan maupun cairan yang keduanya menimbulkan dampak pencemaran bagi lingkungan. Industri penyamakan kulit sebagian besar menggunakan proses *chrome tanning* yang menghasilkan limbah cair yang mengandung Kromium (Cr). Logam berat tidak dapat didegradasi, sehingga untuk melakukan remediasi area yang tercemar oleh logam berat dilakukan secara fisik, kimiawi ataupun biologis namun metode tersebut mahal, tidak efektif, dan berdampak negatif bagi lingkungan (Lasat, 2002). Salah satu solusi untuk memulihkan kembali kondisi lingkungan yang tercemar adalah dengan menggunakan cara fitoremediasi. Hal ini dapat menjadi solusi yang tepat karena dapat dilakukan dengan mudah dan harga yang terjangkau. Penggunaan sistem fitoremediasi menggunakan eceng gondok bertujuan menjadikan bioakumulator pencemaran air karena kemampuannya dalam mengakumulasi logam berat. Tumbuhan yang digunakan adalah tumbuhan yang termasuk dalam jenis hiperakumulator yaitu eceng gondok (*E. crassipes*). Tumbuhan ini berpotensi dalam menyerap logam berat karena merupakan tumbuhan dengan toleransi tinggi yang dapat tumbuh baik dalam limbah, pertumbuhannya cepat serta menyerap dan mengakumulasi logam dengan baik dalam waktu yang singkat (Zayed *et al.*, 1998).

Pada penelitian ini juga dilakukan optimasi kondisi yang bertujuan untuk memperoleh proses yang efisien. Salah satu pendekatan untuk mengoptimasi secara simultan pada beberapa variabel adalah pendekatan secara statistik menggunakan *Response Surface Methode- Box Behnken Design*. Menurut Turkyilmaz *et al.* (2014), metoda ini dapat menangani dua atau lebih faktor pada beberapa level, sekaligus memberikan hasil yang absah pada rentang luas sesuai dengan kondisi eksperimen.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh berat tumbuhan eceng gondok, waktu penyisihan, dan variasi konsentrasi Kromium (Cr) yang digunakan dengan pendekatan *Response Surface Methodology - Box Behnken Design*.

1.2 Rumusan Masalah

Pemanfaatan logam berat kromium (Cr) yang berlebihan dalam kehidupan sehari-hari akan menjadi bahan pencemar bagi lingkungan. Salah satu sumber pencemaran dari logam berat kromium (Cr) berasal dari limbah hasil produksi penyamakan kulit. Industri penyamakan kulit termasuk salah satu industri yang mengeluarkan limbah cair dalam volume cukup besar. Pada penyamakan 1 ton kulit basah diperlukan air $\pm 40 \text{ m}^3$ dan kemudian dibuang sebagai limbah cair yang tercampur dengan bahan kimia sisa proses dan komponen kulit yang terlarut selama penyamakan (Paul *et al.*, 2013). Oleh karena itu, perlu dilakukan tindakan pemulihan (remediasi) yang mudah, murah, dan efisien agar lahan yang tercemar logam berat dapat digunakan kembali untuk berbagai kegiatan dengan aman. Salah satu metode remediasi yang dapat digunakan untuk menanggulangi pencemaran logam berat kromium adalah fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan teknik pemulihan lahan tercemar dengan menggunakan tumbuhan untuk menyerap, mendegradasi, dan mentransformasi bahan pencemar, baik itu logam berat maupun senyawa organik. Metode ini mudah diaplikasikan, efisien, murah, dan ramah lingkungan (Schnoor and McCutcheon, 2003).

Pada penelitian ini akan digunakan metode fitoremediasi dengan pemanfaatan eceng gondok yang memiliki harga terjangkau dan mampu beradaptasi dengan lingkungan sekitar dengan mudah. Masalah utama yang akan dibahas adalah bagaimana kondisi optimum dalam proses remediasi yang dapat dilakukan oleh eceng gondok agar dapat memperbaiki kualitas lingkungan yang tercemar dengan limbah kromium artifisial. Digunakan variasi konsentrasi kromium, jumlah eceng gondok, dan lama waktu penyisihan kromium karena kondisi di lapangan dapat bervariasi.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan efisiensi eceng gondok dalam menurunkan kromium (Cr^{6+}) pada berbagai variasi konsentrasi yang digunakan

2. Menentukan laju evapotranspirasi yang terjadi pada eceng gondok dengan variasi jumlah tumbuhan yang digunakan dalam penyisihan kromium (Cr^{6+})
3. Menentukan optimasi penyisihan kromium oleh eceng gondok menggunakan *Response Surface Methodology Design Box* Behnken.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai potensi pemanfaatan eceng gondok sebagai tumbuhan yang digunakan dalam fitoremediasi air tercemar kromium (Cr^{6+})
2. Memperoleh ilmu pengetahuan dalam mengetahui pengaruh metode RSM (*Response Surface Methodology*) dengan design Box Behnken menggunakan eceng gondok.
3. Memberikan informasi mengenai laju evapotranspirasi yang terjadi selama proses penyisihan Cr^{6+} .

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup yang merupakan pembatasan masalah dan pembahasan pada penelitian ini adalah:

1. Sampel air yang digunakan adalah air limbah kromium artifisial
2. Mekanisme proses penyisihan kromium yang digunakan adalah fitoremediasi dengan eceng gondok menggunakan metode *Response Surface Methodology Design Box* Behnken
3. Variabel yang digunakan adalah variasi konsentrasi limbah kromium artifisial, lama waktu proses penyisihan logam, dan berat eceng gondok yang digunakan untuk menyisihkan logam
4. Parameter yang diukur adalah kromium, pH, suhu, dan laju evapotranspirasi.
5. Digunakan sistem *batch reactor*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Logam Berat

Logam berat Cd, Hg dan Pb dinamakan sebagai logam *non-essensial* dan pada tingkat tertentu menjadi logam beracun bagi makhluk hidup (Charlena, 2004). Menurut Panjaitan (2009) dalam Setiawan (2013), faktor yang menyebabkan logam berat termasuk dalam kelompok zat pencemar berbahaya karena logam berat mempunyai sifat yang tidak dapat terurai (*non-biodegradable*) dan mudah diabsorpsi. Berbeda dengan logam biasa, logam berat biasanya menimbulkan efek khusus pada makhluk hidup. Dapat dikatakan bahwa semua logam berat dapat menjadi racun bagi tubuh makhluk hidup apabila melampaui ambang batas yang diizinkan. Namun sebagian dari logam berat tersebut memang dibutuhkan oleh tubuh makhluk hidup dalam jumlah tertentu (sedikit), yang juga apabila tidak terpenuhi akan berakibat fatal terhadap kelangsungan hidup dari makhluk hidup tersebut (Ernawati, 2010).

2.1.1 Logam Berat Kromium (Cr)

Menurut Susilaningih (1992), di dalam limbah industri, krom dapat berada dalam 2 bentuk ion yaitu Cr^{3+} atau krom trivalen dan Cr^{6+} atau krom heksavalen. Krom heksavalen dilaporkan lebih toksik dibandingkan dengan krom trivalen dikarenakan sifatnya yang mudah larut dalam air dan membentuk oksianion divalen yaitu kromat (CrO_4^{2-}) dan dikromat ($Cr_2O_7^{2-}$). Kadar krom heksavalen yang tinggi pada tumbuhan dapat mengakibatkan terjadinya hambatan pertumbuhan, menginduksi klorosis pada daun muda, mengurangi kandungan pigmen, menghambat aktivitas enzim, merusak sel akar dan menyebabkan modifikasi ultrastruktur pada kloroplas dan membran sel (Panda and Choudhury, 2005). Krom juga dapat menyebabkan kerusakan saluran pernafasan dan paru-paru, gangguan perut, bisul, kejang ginjal, kerusakan hati, dan bahkan kematian pada hewan dan manusia (Sudarmaji *et al.*, 2006).

Kromium termasuk unsur yang jarang ditemukan pada perairan alami. Kromium yang ditemukan pada perairan adalah

kromium trivalent (Cr^{3+}) dan kromium heksavalen (Cr^{6+}) namun pada perairan yang memiliki pH lebih dari 5, kromium trivalen tidak ditemukan. Apabila masuk perairan, kromium trivalent akan dioksidasi menjadi kromium heksavalen yang lebih toksik. Kromium trivalent biasanya terserap ke dalam partikulat, sedangkan kromium heksavalen tetap berada dalam bentuk larutan (Palar, 2008).

2.2 Pencemaran Logam Berat

Pada konsentrasi tertentu logam berat kromium dapat menjadi masalah terhadap. Kromium dalam perairan bersifat toksik dan mempunyai kelarutan yang tinggi, korosif serta karsinogenik karena dapat menyebabkan kanker paru-paru dan diperkirakan dapat membentuk kompleks makro molekul dalam sel. Struktur kimia CrO_4^{2-} hampir sama dengan SO_4^{2-} yang berfungsi sebagai ion nutrisi dalam sistem biologi. Hal ini menyebabkan CrO_4^{2-} dapat cepat mengalami reduksi dan menembus membran sel (Palar, 2008).

Keberadaan kromium di lingkungan perlu mendapat perhatian mengingat kecilnya batas konsentrasi yang diizinkan. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001, kadar maksimum yang diijinkan untuk logam kromium adalah 0,5 mg/L, sedangkan berdasarkan Keputusan Direktur Jenderal Penelitian Obat dan Makanan Nomor 03725/B/SK/VII/89 kadar maksimal yang diijinkan untuk kandungan logam berat kromium adalah 2,5 mg/kg.

Krom (Cr) biasanya ditemukan dalam industri yang bergerak pada bidang pelapisan krom, pabrik cat, pabrik tinta, pabrik penyamakan kulit, pabrik tekstil. Industri penyamakan kulit merupakan salah satu industri yang menghasilkan limbah berbahaya berupa padatan maupun cairan yang keduanya menimbulkan dampak pencemaran bagi lingkungan. Air limbah pada industri penyamakan kulit harus memenuhi baku mutu pada Peraturan Gubernur Jawa Timur Hidup No. 52 Tahun 2014 yang disajikan pada Tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Baku Mutu Limbah Cair Bagi Usaha dan atau Kegiatan Limbah Penyamakan Kulit

Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)			
	Proses lengkap	Sampai wet blue	Bahan baku wet blue	Menggunakan daun-daunan
BOD5	100	100	75	70
COD	250	250	200	180
TSS	100	100	75	50
Krom Total (Cr)	0,5	0,5	0,3	0,1
Minyak & Lemak	5	5	3	5
NH3-N (Amonia Total)	10	10	5	0,5
Sulfida (sebagai H2S)	0,8	0,8	0,5	0,5
pH	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0

Sumber: Peraturan Gubernur Jawa Timur Hidup No. 52 Tahun 2014

2.3 Mekanisme Proses Fitoremediasi

Fitoremediasi adalah suatu metode yang menggunakan tumbuhan untuk menghilangkan polutan dari tanah atau perairan yang terkontaminasi (Titi *et al.*, 2005). Fitoremediasi adalah salah satu teknologi yang bersahabat dengan lingkungan yang tidak mahal dan efektif. Proses pengolahan limbah cair yang menggunakan tumbuhan air terjadi proses penyaringan dan penyerapan oleh akar ataupun batang tumbuhan air, proses pertukaran dan penyerapan ion, dan tumbuhan air juga berperan dalam menstabilkan pengaruh iklim, angin, cahaya matahari, dan suhu (Hardyanti dan Suparni, 2007).

Mekanisme penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dapat dibagi menjadi tiga proses yang sinambung, yaitu penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain, dan lokalisasi logam pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut (Connel dan Miller, 1995).

Menurut Yola *et al.* (2014), tumbuhan yang dapat digunakan pada penelitian fitoremediasi adalah tumbuhan yang cepat tumbuh, mampu mengonsumsi air dalam jumlah yang banyak pada waktu yang singkat, mampu meremediasi lebih dari satu polutan, dan toleransi yang tinggi terhadap polutan. Mekanisme kerja dari fitoremediasi tumbuhan eceng-ecengan bersifat fitoekstraksi dan rizofiltrasi. Fitoekstraksi ialah penyerapan polutan oleh tumbuhan melalui air atau tanah lalu disimpan dalam daun atau batang tumbuhan, tumbuhan seperti itu disebut dengan hiperakumulator. Setelah polutan terakumulasi, tumbuhan diambil, tidak boleh dikonsumsi dan harus dimusnahkan dengan insinerator. Mekanisme ini terjadi ketika akar tumbuhan mengabsorpsi larutan polutan sekitar akar ke dalam akar, yang selanjutnya ditranslokasi ke dalam organ tumbuhan melalui pembuluh xilem. Proses tersebut cocok digunakan untuk dekontaminasi zat-zat anorganik seperti logam-logam berat.

Penggunaan sistem fitoremediasi menggunakan eceng gondok bertujuan menjadikan bioakumulator pencemaran air karena kemampuannya dalam mengakumulasi logam berat. Ini dimungkinkan karena pada akar eceng gondok terdapat mikroorganisme (rhizosfera) yang mampu mengurai senyawa organik, anorganik bahkan logam beracun di perairan yang digunakan sebagai sumber makanan. Selain itu, mikroorganisme ini juga mampu mengubah Cr anorganik menjadi Cr organik yang selanjutnya diserap oleh akar eceng gondok dan digunakan sebagai kofaktor dari enzim plastosianin yang berguna dalam proses fotosintesis yang merangsang pembelahan sel pada eceng gondok (Tangio, 2015).

2.4 Tumbuhan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)

Eceng gondok (*E. crassipes*) merupakan salah satu jenis tumbuhan air yang memiliki kemampuan untuk menyerap dan mengakumulasi logam berat (Ingole, 2003). Tumbuhan ini berpotensi dalam menyerap logam berat karena merupakan tumbuhan dengan toleransi tinggi yang dapat tumbuh baik dalam limbah, pertumbuhannya cepat serta menyerap dan mengakumulasi logam dengan baik dalam waktu yang singkat. Eceng gondok juga dapat menurunkan nilai *Biochemical Oxygen*

Demand (BOD), Total Suspended Solid (TSS) dan Chemical Oxygen Demand (COD) limbah cair (Zayed et al., 1998).

Eceng gondok memiliki kecepatan tumbuh yang tinggi sehingga tumbuhan ini dianggap sebagai gulma yang dapat merusak lingkungan perairan dan dengan mudah menyebar melalui saluran air ke badan air lainnya. Pertumbuhan eceng gondok tersebut akan semakin baik apabila hidup pada air yang dipenuhi limbah pertanian atau pabrik. Oleh karena itu banyaknya eceng gondok di suatu wilayah sering merupakan indikator dari tercemar tidaknya wilayah tersebut (Nursyakhia, 2014). Tanaman keluarga *Pontederiaceae* ini juga mampu mendatangkan manfaat lain, yaitu sebagai biofilter cemaran logam berat, sebagai bahan kerajinan dan campuran pakan ternak (Mukti, 2008). Akan tetapi kebanyakan orang mengenal eceng gondok sebagai tumbuhan pengganggu (gulma) di perairan karena pertumbuhannya sangat cepat.

Faktor lingkungan yang menjadi syarat untuk pertumbuhan eceng gondok:

1. Cahaya matahari, suhu. Pertumbuhan eceng gondok sangat memerlukan cahaya matahari yang cukup, dengan suhu optimum antara 25°C-30°C, Hal ini dapat dipenuhi dengan baik di daerah beriklim tropis.
2. Derajat keasaman (pH) air. Eceng gondok dapat hidup di tempat yang mempunyai derajat keasaman (pH) air 3,5-10. Agar pertumbuhan eceng gondok menjadi baik, pH air optimum antara 4,5-7 (Mukti, 2008).

Eceng gondok merupakan tumbuhan yang sangat toleran terhadap kadar unsur hara yang rendah dalam air, tetapi respon terhadap kadar unsur hara yang tinggi juga sangat besar. Pertumbuhan eceng gondok dipengaruhi oleh pH. Pada pH sekitar 7,0-7,5, eceng gondok mempunyai pertumbuhan yang lebih baik. Pada pH di bawah 4,2 dapat meracuni pertumbuhan eceng gondok, sehingga eceng gondok mati (Rita et al., 2009). Menurut Hidayati et al. (2011), hasil penelitiannya menunjukkan bahwa tumbuhan akuatik dapat digunakan sebagai agen remediator untuk kromium (Cr). Eceng gondok memiliki 49,56%, kayu apu 33,61%, dan ganggang 10,84% untuk menurunkan kadar kromium (Cr) dalam limbah cair batik industri. Pemilihan tumbuhan *E. crassipes* pada usia 1 bulan dikarenakan tumbuhan ini memasuki fase

generatif. Fase generatif merupakan fase tumbuhan bisa menyerap kontaminan secara optimal (Herrena dan Titah, 2017). Eceng gondok dipilih pada penelitian ini karena memiliki beberapa keunggulan dibandingkan tumbuhan lain, yaitu:

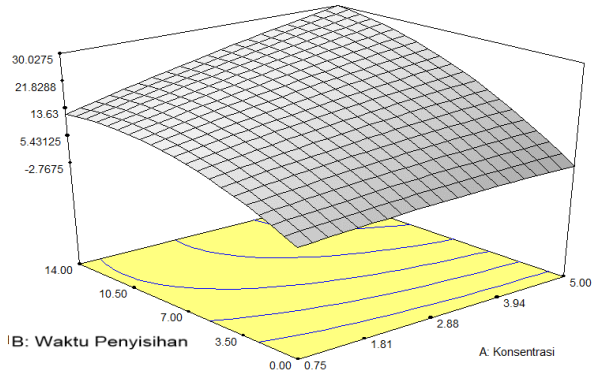
- Pertumbuhan lebih cepat
- Produksi biomassa lebih besar (kemampuan menyerap polutan tinggi)
- Kontak langsung dengan air yang terkontaminasi
- Hiperakumulator (Yuliani *et al.*, 2014)

2.5 Optimasi *Response Surface Methodology* (RSM)

Menurut Montgomery (2001) *Response Surface Methodology* (RSM) merupakan kumpulan dari teknik matematika dan statistik yang digunakan untuk modeling dan menganalisis masalah, dimana beberapa variabel mempengaruhi sebuah respons yang tujuannya untuk mengoptimalkan respons tersebut. Keuntungan menggunakan metode RSM yaitu lebih cepat dan informatif dibanding dengan pendekatan satu variabel klasik atau desain faktorial lengkap (Singh *et al.*, 2012).

Di samping itu, keunggulan metode RSM ini diantaranya tidak memerlukan data-data percobaan dalam jumlah yang besar dan tidak membutuhkan waktu lama (Iriawan dan Astuti, 2006). Salah satu metode optimasi kondisi proses adalah *Response Surface Methodology* (RSM). Metoda ini dapat menangani dua atau lebih faktor pada beberapa level, sekaligus memberikan hasil yang absah pada rentang luas sesuai dengan kondisi eksperimen (Turkyilmaz *et al.*, 2014).

Menurut Qiu *et al.* (2014), grafik menunjukkan setiap variabel x_1 , x_2 dan x_3 akan menghasilkan nilai respon y . Gambar tiga dimensi memperlihatkan permukaan respon dari samping dan itu disebut plot permukaan respon. Respon permukaan dalam grafik tiga dimensi biasanya terlalu rumit untuk dilihat, maka dari itu dibuat plot kontur yang dapat menunjukkan garis kontur x_1, x_2 dan x_3 pada pasangan yang memiliki respon yang sama yaitu y .



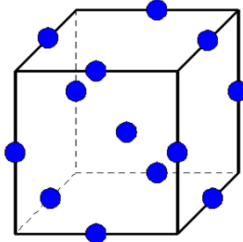
Gambar 2. 1 Contoh Grafik Surface Design Expert

2.6 Box-Behnken Design

Di dalam optimasi proses menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) dipengaruhi oleh desain yang digunakan. Jenis-jenis desain yang sering digunakan dalam metode RSM adalah desain tiga variabel *Box-Behnken*, *Central Composite Design* (CCD), dan *Central Composite Face-Centered* (CCF). Jenis desain yang digunakan tergantung dengan jumlah level (aras), faktor, serta kombinasi perlakuan (Oramahi, 2017). Dalam skripsi Tamrin (2011), menjelaskan tentang *Response Surface Methodology* – rancangan Box Behnken. Rancangan *box-behnken* merupakan salah satu metode optimasi dalam RSM dimana merupakan sebuah rancangan percobaan yang terdiri kombinasi rancangan 2k dengan *incomplete block design* dengan menambahkan *center run* pada rancangannya. Dapat dilihat gambar 2.2 box-behnken untuk tiga faktor.

Pada box behnken design terdapat nilai *desirability*. Menurut Rahman *et al.* (2018), fungsi nilai *desirability* sendiri adalah untuk menemukan nilai-nilai optimal dari semua variabel secara bersamaan selama proses optimasi dengan metode analitik. Dalam prosedur ini, setiap respon yang diprediksi ditransformasikan ke dalam fungsi *desirability* individu (di) menggunakan model yang diprediksi. Nilai *desirability* dapat bervariasi dari 0 hingga 1. Untuk respon yang sepenuhnya tidak

diinginkan, nilai di mendekati pada angka = 0 (nol) sedangkan angka = 1 (satu) untuk respon yang benar-benar diinginkan (semakin baik).



Gambar 2. 2 Box-Behnken untuk Tiga Faktor

2.7 Evapotranspirasi

Evapotranspirasi merupakan kombinasi antara proses evaporasi dari seluruh permukaan dengan proses transpirasi tanaman. Menurut Rodda *et al.* (1976), evaporasi didefinisikan sebagai proses perubahan air dari bentuk cair menjadi bentuk uap yang terjadi dengan bantuan energi. Evaporasi dapat terjadi pada permukaan tanah yang basah, salju, permukaan es dan dari tanaman yang terbasahi oleh hujan. Sedangkan, transpirasi merupakan proses penguapan air yang terkandung di dalam tanaman dan berpindah menuju atmosfer.

Rodda *et al.* (1976), juga mengemukakan bahwa proses evaporasi dipengaruhi oleh faktor ketersediaan energi untuk mengubah molekul air dari bentuk cair menjadi uap. Sumber energi yang digunakan dapat berasal dari radiasi surya, suhu permukaan udara dan suhu permukaan evaporasi. Jumlah air yang ter-evaporasi dari permukaan air juga ditentukan oleh kecepatan angin dan pergerakan angin tersebut mengangkut molekul air dari tempat yang banyak mengandung uap air ke tempat yang sedikit mengandung uap air. Seperti halnya evaporasi, transpirasi juga membutuhkan suplai energi untuk mengubah air menjadi bentuk uap. Oleh sebab itu, suhu udara, kelembaban relatif, penyinaran matahari dan kecepatan angin diperhatikan juga dalam penetapan transpirasi. Suplai energi dalam proses transpirasi ditentukan oleh gradien tekanan uap dan angin (Irawan, 2003).

Di lapangan proses transpirasi dan evaporasi terjadi secara bersamaan dan sulit untuk dipisahkan satu dengan yang lainnya. Oleh karena itu, kehilangan air lewat kedua proses ini pada umumnya dijadikan satu dan disebut “evapotranspirasi (ET)”. Dengan demikian evapotranspirasi merupakan jumlah air yang diperlukan oleh tanaman (Islami dan Utomo, 1995).

Faktor - faktor lingkungan yang mempengaruhi evapotranspirasi (Lubis, 2000) yaitu:

1. Radiasi matahari.
Dari radiasi matahari yang diserap oleh daun, 1-5% digunakan untuk fotosintesis dan 75-85% digunakan untuk memanaskan daun dan untuk transpirasi.
2. Temperatur.
Peningkatan temperatur meningkatkan kapasitas udara untuk menyimpan air, yang berarti tuntutan atmosfer yang lebih besar.
3. Kelembaban relatif.
Makin besar kandungan air di udara, makin tinggi kelembaban udara, yang berarti tuntutan atmosfer menurun dengan meningkatnya kelembaban relatif.
4. Angin.
Transpirasi terjadi apabila air berdifusi melalui stomata. Apabila aliran udara (angin) menghembus udara lembab di permukaan daun, perbedaan potensial air di dalam dan tepat di luar lubang stomata akan meningkat dan difusi bersih air dari daun juga meningkat

Faktor-faktor tanaman yang mempengaruhi evapotranspirasi (Lubis, 2000) yaitu:

1. Penutupan stomata. Sebagian besar transpirasi terjadi melalui stomata karena kutikula secara relatif tidak tembus air, dan hanya sedikit transpirasi yang terjadi apabila stomata tertutup. Jika stomata terbuka lebih lebar, lebih banyak pula kehilangan air tetapi peningkatan kehilangan air ini lebih sedikit untuk masing-masing satuan penambahan lebar stomata. Faktor utama yang mempengaruhi pembukaan dan penutupan stomata dalam kondisi lapangan ialah tingkat cahaya dan kelembaban.

2. Jumlah dan ukuran stomata. Jumlah dan ukuran stomata, dipengaruhi oleh genotipe dan lingkungan mempunyai pengaruh yang lebih sedikit terhadap transpirasi total daripada pembukaan dan penutupan stomata.
3. Jumlah daun. Makin luas daerah permukaan daun, makin besar evapotranspirasi.
4. Penggulungan atau pelipatan daun. Banyak tanaman mempunyai mekanisme dalam daun yang menguntungkan pengurangan transpirasi apabila persediaan air terbatas.

2.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan acuan dalam penelitian yang menggunakan eceng gondok dalam penyisihan logam berat kromium (Cr). Berdasarkan penelitian Sinha and Sing (2011) di India eceng gondok dapat mentolerir 5 mg/L Cr⁶⁺ tanpa layu dan daun eceng gondok memiliki potensi untuk mengolah air limbah penyamakan kulit. Dengan demikian fitoremediasi efluen sekunder oleh kolam eceng gondok dapat memenuhi standar kualitas efluen untuk Instalasi Pengolahan Limbah Umum (CETP), yaitu 2 mg/L.

Menurut Patel and Giri (2011) eceng gondok yang mempunyai pH 6,8 ditambah dengan larutan kalium dikromat (K₂Cr₂O₇) sebanyak 0; 0,75; 1,5; 2,5; dan 4 mg/L. Tumbuhan diteliti pada rentang waktu 3, 6, dan 9 hari. Lalu ditambahkan dengan laruta Cr (VI) konsentrasi 4 mg/L. Setelah 9 hari ternyata eceng gondok mampu mengakumulasi logam dari akar sekitar 1,22 mg/g (berat kering) dan di daun sekitar 0,24 mg/g (berat kering). Menurut penelitian Sarkar *et al.* (2016), eceng gondok terbukti efisien dalam mengurangi konsentrasi TDS, pH, Cr⁶⁺ dari limbah pengolahan tambang kromit dalam kurun waktu 15 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses yang terjadi sangat baik sehingga mencapai efisiensi penyisihan Cr⁶⁺ hingga 99,5% pada konsentrasi awal Cr⁶⁺ sebesar 0,5 mg/L (rentang Cr⁶⁺ yang digunakan adalah 0,5-5 mg/L).

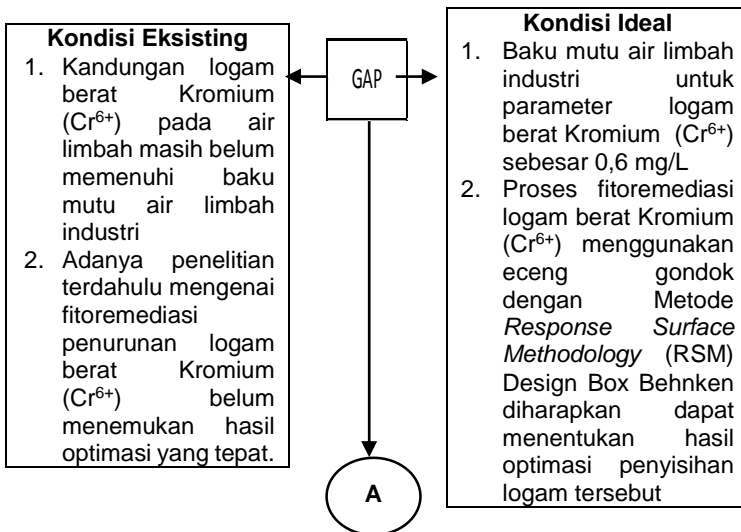
BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Deskripsi umum

Metode penelitian digunakan sebagai acuan prosedur dan langkah-langkah sistematis dalam melakukan penelitian. Pada penelitian ini bertujuan untuk menentukan tindakan prioritas yang dilakukan untuk menentukan kemampuan penyisihan kromium (Cr) oleh eceng gondok dengan metode *Response Surface Methodology* Design Box Behnken. Pada penelitian ini yang diteliti adalah variasi jumlah eceng gondok yang digunakan untuk menyisihkan logam berat kromium, lama waktu penyisihan kromium, dan konsentrasi yang digunakan.

3.2 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian disusun sebagai acuan dalam melakukan penelitian. Penyusunan kerangka penelitian disusun dengan jelas dan sistematis bertujuan untuk mempermudah dalam pelaksanaan penelitian, mencapai tujuan dan perbaikan yang diperlukan. Skema kerangka penelitian pada Gambar 3.1



A

Rumusan Masalah

1. Berapa besaran kemampuan eceng gondok untuk menyisihkan pencemar logam berat kromium (Cr)
2. Bagaimana mengoptimalkan penyisihan kromium (Cr) oleh eceng gondok
3. Berapa besaran laju evapotranspirasi pada eceng gondok selama proses penyisihan logam berat kromium

Ide Penelitian

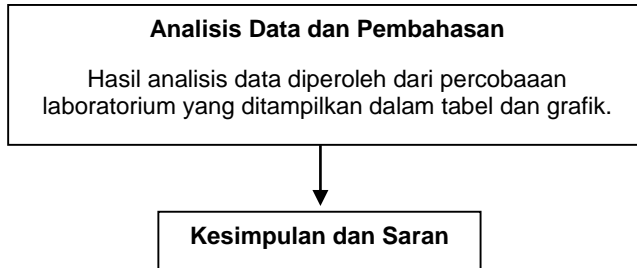
“Optimasi Penyisihan Kromium (Cr) oleh eceng gondok dengan Menggunakan *Response Surface Methodology-Design Box Behnken*”

Penelitian Pendahuluan

- Menentukan jenis tumbuhan hipperakumulator yang digunakan untuk proses fitoremediasi
- Menentukan variasi konsentrasi logam berat Kromium (Cr^{6+}), lama waktu penyisihan kromium, dan jumlah eceng gondok yang digunakan

Analisis data *Design Box Behnken* menggunakan software *Design Expert*

- Variasi konsentrasi logam berat Kromium (Cr^{6+}) yang digunakan adalah 0,75; 2,88; dan 5 mg/L
- Lama waktu proses penyisihan logam oleh eceng gondok adalah 0; 7; dan 14 hari
- Jumlah eceng gondok yang digunakan sebanyak 20; 40; dan 60 tumbuhan.



Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Remediasi Lingkungan Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS Surabaya. Reaktor diletakkan di depan Workshop Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS Surabaya untuk menjaga agar tumbuhan mendapat sinar matahari dan oksigen yang cukup. Waktu yang dibutuhkan untuk penelitian ini adalah 7 minggu.

3.4 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian merupakan langkah-langkah yang akan dilakukan selama penelitian ini. Pada tahapan penelitian akan dijelaskan lebih rinci langkah-langkah yang terdapat pada kerangka penelitian serta memudahkan pemahaman.

3.4.1 Ide Penelitian

Ide penelitian ini berasal dari peningkatan permintaan pasar terhadap hasil kegiatan industri, hal ini berbanding lurus dengan jumlah limbah yang dihasilkan. Tidak dapat dipungkiri bahwa hingga saat ini masih banyak perusahaan industri yang membuang limbahnya langsung ke badan air tanpa proses pengolahan terlebih dahulu. Salah satu limbah yang dapat mencemari lingkungan berasal dari kegiatan industri penyamakan kulit yaitu Kromium.

Air limbah industri sering terkontaminasi berbagai senyawa seperti: fenol, kromium, padatan tersuspensi, senyawa organik terlarut, dll, dan sangat penting bahwa itu harus diperlakukan ke batas yang dapat diterima lingkungan (Olafadehan dan Aribike, 2000). Oleh karena itu diperlukan pengolahan lebih lanjut untuk mengurangi kandungan logam berat kromium yang terdapat pada

limbah industri penyamakan kulit. Penelitian sebelumnya (Sinha and Singh. 2011) menyatakan bahwa selama seluruh periode pengamatan, yaitu 20 hari, konsentrasi Cr^{6+} turun di bawah 97% dari konsentrasi awal. Tingkat serapan Cr^{6+} oleh *E. crassipes* telah terbukti mampu mentoleransi logam berat Kromium (Cr^{6+}) hingga 5 mg/L selama rentang waktu 20 hari pengamatan.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, penelitian ini menggunakan tumbuhan *E. crassipes* untuk menemukan optimasi penurunan logam berat kromium dengan menggunakan metode *Response Surface Methodology Design Box* Behnken.

3.4.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh informasi terkait dengan penelitian. Literatur yang digunakan diperoleh dari buku, jurnal internasional, jurnal penelitian, artikel, *text book*, laporan tugas akhir, *thesis*, asistensi dengan dosen pembimbing serta literatur yang diakui keabsahannya. Literatur yang dapat menunjang penelitian ini antara lain:

1. Pencemaran logam berat kromium
2. Mekanisme proses fitoremediasi
3. Karakteristik tumbuhan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)
4. Metode *Response Surface Methodology – Design Box* Behnken
5. Laju evapotranspirasi

3.4.3 Penentuan Variabel dan Parameter

Parameter dan variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Parameter utama yang diukur adalah konsentrasi logam berat kromium pada limbah artifisial dan laju evapotranspirasi selama proses penyisihan kromium
2. Parameter pendukung yang diukur adalah pH dan suhu
3. Variabel yang digunakan adalah konsentrasi kromium, lama waktu penyisihan kromium oleh eceng gondok, dan berat eceng gondok yang digunakan.

Berikut ini Tabel 3.1 metode analisis yang digunakan pada setiap parameter sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Metode Analisis pada Parameter Penelitian

No.	Parameter	Tujuan	Instrumen	Metode	Sumber
1	Cr ⁶⁺	Mengetahui konsentrasi Cr ⁶⁺ pada air dan pengaruh terhadap proses fitoremediasi	Spektrofotometer	Spektrofotometri serapan atom (AAS)	SNI 6989.71: 2009
2.	pH	Menganalisis tingkat keasaman pada bahan yang diuji	pH meter	Potensio metri	SNI 06-6989. 11-2004
3.	Suhu	Menganalisis besarnya suhu pada bahan yang diuji	Termometer	-	SNI 06-6989.23-2005

3.4.4 Persiapan Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Reaktor yang digunakan pada tahap propagasi menggunakan wadah plastik ukuran 72 x 52 x 42,5 cm dengan kapasitas 130L dan pada tahap aklimatisasi serta penelitian utama menggunakan wadah plastik ukuran 42 cm x 26 cm x 24,5 cm dengan kapasitas 25L
2. pH meter
3. termometer
4. Timbangan untuk mengukur berat tumbuhan
5. Oven dengan suhu 105°C
6. Kertas saring

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Limbah artifisial kromium dengan variasi konsentrasi 0,75; 2,88; dan 5,0 mg/L
2. Tumbuhan eceng gondok (*E. crassipes*)
3. Pupuk NPK 16:16:16

3.5 Persiapan Penelitian

Rincian dari tahap persiapan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Persiapan reaktor

Pada tahap propagasi reaktor yang digunakan adalah kontainer plastik ukuran 72 x 52 x 42,5 cm dengan kapasitas 130L berjumlah 4 buah. Reaktor akan diisi dengan tumbuhan eceng gondok untuk mendapatkan tunas eceng gondok atau eceng gondok generasi kedua. Kemudian untuk tahap aklimatisasi digunakan kontainer plastik dengan ukuran 42 cm x 26 cm x 24,5 cm dengan kapasitas 25L. Berikut adalah gambar dari reaktor yang digunakan pada penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 (a) Reaktor yang digunakan pada tahap propagasi dan (b) reaktor tahap aklimatisasi dan penelitian utama

Pada penelitian ini terdapat reaktor utama dan reaktor kontrol. Reaktor utama terdiri dari eceng gondok dan limbah artifisial dengan variasi konsentrasi limbah kromium sebesar 0,75; 2,88; dan 5 mg/L sedangkan reaktor kontrol terdiri dari eceng gondok dan air PDAM saja tanpa adanya campuran limbah artifisial kromium.

2. Pembuatan Larutan Induk $K_2Cr_2O_7$

Larutan artificial ini (larutan induk Cr^{6+}) merupakan larutan yang mempunyai kadar logam Cr^{6+} 100 mg/L (100 mg/L) yang akan digunakan untuk membuat larutan kerja dengan konsentrasi lebih rendah.

Ditimbang sebesar 1,2 g $K_2Cr_2O_7$ lalu di oven selama 10-15 menit untuk menghilangkan kandungan H_2O dalam $K_2Cr_2O_7$. Setelah 24 jam dalam keadaan suhu ruangan,

ditimbang sebesar 0,282 g lalu dimasukkan ke dalam labu ukur 1 L. Kemudian ditambahkan akuades sebanyak 1 L lalu dihomogenkan. Volume air yang digunakan pada setiap reaktor sebesar 15 L. berikut adalah contoh perhitungan larutan stok untuk seluruh reaktor:

$$\begin{aligned} \text{Larutan Induk} &= \frac{\text{Berat Molekul } K_2Cr_2O_7}{2 \times \text{Berat Atom } Cr} \times 1 \text{ L} \times 100 \text{ mg/L} \\ &= \frac{294,19}{2 \times 52} \times 1 \text{ L} \times 100 \text{ mg/L} \\ &= 282,69 \text{ mg } K_2Cr_2O_7 \\ &= 0,282 \text{ g } K_2Cr_2O_7 \text{ dalam } 1 \text{ L akuades} \end{aligned}$$

Konsentrasi kromium yang diinginkan adalah 0,75; 2,88; dan 5 mg/L, maka untuk reaktor dengan konsentrasi kromium 0,75 mg/L dihitung dengan cara pengenceran sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_1 \times V_1 &= C_2 \times V_2 \\ 100 \text{ mg/L} \times V_1 &= 0,75 \text{ mg/L} \times 15 \text{ L} \\ V_1 &= 0,1125 \text{ L} \\ &= 112,5 \text{ mL} \end{aligned}$$

dimana:

C1 = konsentrasi larutan stok

V1 = volume pengenceran larutan stok yang diinginkan

C2 = konsentrasi yang dibutuhkan pada reaktor

V2 = volume air di dalam reaktor

Karena reaktor dengan kebutuhan konsentrasi kromium 0,75 mg/L adalah 3 reaktor, maka larutan stok yang dibutuhkan untuk 3 reaktor tersebut adalah:

$$V_1 \times 3 \text{ reaktor} = 337,5 \text{ mL}$$

Rincian perhitungan pengenceran larutan stok pada setiap reaktor dapat dilihat pada Lampiran 1. Berikut adalah Tabel 3.2 untuk rincian banyaknya reaktor yang digunakan pada penyisihan kromium oleh eceng gondok.

Tabel 3. 2 Jumlah Reaktor yang Digunakan Pada Penelitian Utama

Konsentrasi Awal Cr6+ (mg/L)	Berat Tumbuhan (g)	Reaktor
0,75	200	Aa
	300	Ab
	400	Ac
2,88	200	Ba
	300	Bb
	400	Bc
5	200	Ca
	300	Cb
	400	Cc
Tanpa Kromium	300	Kontrol

Tumbuhan yang digunakan adalah eceng gondok dikarenakan menurut Hidayati *et al.* (2011), tumbuhan akuatik dapat digunakan sebagai agen remediator untuk kromium. Eceng gondok memiliki kemampuan penyisihan sebesar 49,56%, kayu apu 33,61%, dan ganggang 10,84% untuk menurunkan kadar kromium dalam limbah cair batik industri. Adapun banyaknya tumbuhan yang digunakan adalah menurut Widyaningsih (2012), biomassa eceng gondok paling efektif menurunkan kandungan krom dari limbah cair industri sablon sebesar 100-200 g/5L. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan digunakan tumbuhan dengan variasi 200-400 g dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\frac{100 \text{ g}}{5 \text{ L}} = \frac{a}{b}$$

dimana:

a = berat tumbuhan yang dicari untuk dijadikan variasi konsentrasi selama penelitian

b = volume air pada reaktor yang akan diteliti (15 L)

Maka, didapatkan hasil dari perhitungan diatas adalah:

$$\frac{100 \text{ g}}{5 \text{ L}} = \frac{X}{15 \text{ L}}$$

$$\frac{1500 \text{ g}}{5 \text{ L}} = 300 \text{ g tumbuhan}$$

Maka untuk variasi berat tumbuhan yang digunakan adalah 200 g, 300 g, dan 400 g/15L air sampel pada masing-masing reaktor. Perhitungan penentuan berat eceng gondok di atas digunakan pada reaktor-reaktor penyisihan kromium. Adapun pada tiap reaktor diberikan variasi konsentrasi yang berbeda pula untuk menentukan variasi yang tepat guna menentukan titik optimasi pada penyisihan kromium.

3.6 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Studi literatur mengenai fitoremediasi penurunan kromium dengan eceng gondok
2. Penentuan variasi konsentrasi kromium yang digunakan. Tumbuhan *Eichhornia crassipes* yang mempunyai pH 6,8 ditambah dengan larutan kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) sebanyak 0; 0,75; 1,5; 2,5; dan 4 mg/L. Tumbuhan diteliti pada rentang waktu 3, 6, dan 9 hari. Setelah 9 hari ternyata eceng gondok mampu mengakumulasi logam dari akar sekitar 1,22 mg/g (berat kering) dan di daun sekitar 0,24 mg/g (berat kering) (Patel and Giri, 2011). Menurut penelitian Sarkar *et al.* (2016), eceng gondok terbukti efisien dalam mengurangi konsentrasi TDS, pH, Cr^{6+} dari limbah pengolahan tambang kromit dalam kurun waktu 15 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses yang terjadi sangat baik sehingga mencapai efisiensi penyisihan Cr^{6+} hingga 99,5% pada konsentrasi awal Cr^{6+} sebesar 0,5 mg/L (rentang Cr^{6+} yang digunakan adalah 0,5-5 mg/L). Berdasarkan penelitian Sinha and Sing (2011) di India, eceng gondok dapat mentolerir 5 mg/L Cr^{6+} dan apabila lebih dari konsentrasi tersebut air limbah dapat bersifat toksik bagi eceng gondok. Berdasarkan penelitian diatas, dipilih variasi konsentrasi Cr^{6+} pada penelitian ini dengan rentang terendah yaitu 0,75 mg/L dan 5 mg/L dan didapatkan variasi 2,88 mg/L berdasarkan hasil input model yang dilakukan setelah penentuan rentang terendah dan tertinggi tersebut

3. Penentuan lama waktu penyisihan kromium pada penelitian ini selama 14 hari. Menurut penelitian Hossen *et al.* (2017), penyisihan Cr menggunakan *E. crassipes* setelah 15 hari sebesar 54,72%. Kromium dalam limbah cair penyamakan kulit tergolong cukup tinggi yaitu 2,71 mg/L mengalami penurunan pada hari ke-28 dengan kerapatan tanaman 6 individu sehingga mencapai 2,23 mg/L (Hartanti *et al.*, 2014). Berdasarkan penelitian Hossen *et al.* (2017), didapatkan bahwa durasi waktu memiliki efek signifikan pada proses fitoremediasi, dimana 15 hari penyisihan menggunakan eceng gondok lebih efektif daripada 7 hari. Mengacu pada penelitian tersebut, penentuan lama waktu yang diambil adalah 14 hari (<15 hari) dikarenakan apabila selama 14 hari hasil optimasi tidak terlihat maka akan diambil sampel pada hari ke-14 hingga 28 untuk memastikan terlihatnya titik optimasi yang diinginkan. Namun menurut penelitian Hartanti *et al.* (2014), lamanya waktu penyisihan kromium yaitu 28 hari dengan eceng gondok sebanyak 6 individu (120 g berat basah eceng gondok) hanya mampu menurunkan kromium sebesar 0,48 mg/L
4. Tahap propagasi akan dilakukan pengamatan terhadap laju pertumbuhan tumbuhan dan dibiarkan sampai tumbuh tunas (Raissa dan Tangahu, 2017). Tahap propagasi ini dilakukan minimal selama satu bulan sampai tumbuhan memiliki ukuran secara optimum (Suelee, 2015). Tahap propagasi ini berfungsi untuk menyediakan stok tumbuhan yang akan digunakan pada saat penelitian. Pada tahap ini, ditambahkan pupuk NPK konsentrasi 16:16:16 setiap satu minggu sekali yang bertujuan untuk membantu tumbuhan eceng gondok mendapatkan nutrisi selama proses pertumbuhan. Pengamatan terhadap tumbuhan eceng gondok dilakukan dengan mengamati karakteristik fisik berupa panjang tumbuhan, lebar daun. Tumbuhan pada umur dan tinggi yang sama akan digunakan pada setiap tahapan penelitian dan diharapkan dengan demikian maka kondisi awal tumbuhan yang digunakan adalah sama (Herrena dan Titah, 2017). Tahap propagasi

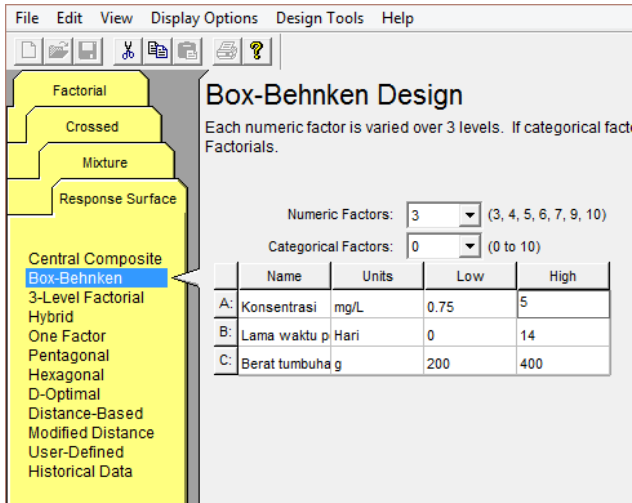
menggunakan reaktor berupa kontainer plastik ukuran 72 x 52 x 42,5 cm dengan kapasitas 130L.

5. Pada tahap aklimatisasi ini, eceng gondok diletakkan pada reaktor utama selama 7 hari menggunakan air PDAM. Tanaman eceng gondok diambil di daerah Bululawang Kota Malang kemudian dilakukan aklimatisasi tanaman dengan air PDAM dengan tujuan untuk menetralisasi tanaman (Hartanti *et al.*, 2014). Tahap aklimatisasi tumbuhan ini dilakukan agar eceng gondok dapat menyesuaikan diri dengan kondisi dan media yang akan digunakan pada proses fitoremediasi. Tahap aklimatisasi tumbuhan dilakukan dalam reaktor yang terbuat dari wadah plastik ukuran 42 cm x 26 cm x 24,5 cm dengan kapasitas 25L. Pada kondisi ini diharapkan tumbuhan dapat beradaptasi dengan karakteristik tumbuh subur.

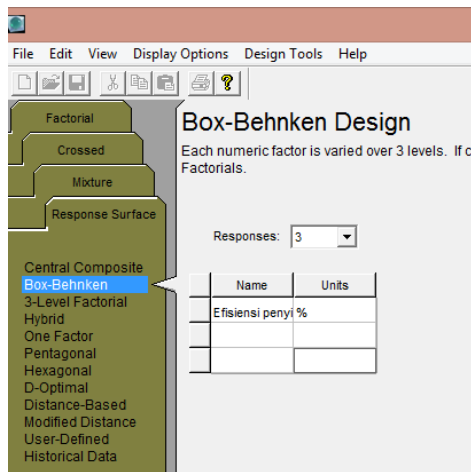
3.7 Penelitian Utama

Penelitian utama memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Memasukkan data variasi konsentrasi, berat eceng gondok, dan lama waktu penyisihan kromium oleh eceng gondok untuk dilakukan analisis awal pada *software design expert*. Yang kemudian akan menghasilkan grafik respon dan faktor variabel yang datanya telah dimasukkan. Optimasi dilakukan agar mempersingkat waktu dengan melakukan penelitian yang lebih efektif. Menurut Iriawan dan Astuti (2006), keunggulan metode RSM ini diantaranya tidak memerlukan data-data percobaan dalam jumlah yang besar dan tidak membutuhkan waktu lama. Berikut adalah gambar saat memasukkan data pada program *Design Expert* dapat dilihat pada **Gambar 3.3** sampai **3.5**.



Gambar 3. 3 Cara memasukkan variabel ke dalam program *Design Expert*



Gambar 3. 4 Cara memasukkan parameter ke dalam program *Design Expert*

Std	Run	Block	Factor 1 A:Konsentrasi mg/L	Factor 2 B:Waktu penyil Hari	Factor 3 C:berat tumbuh gram	Response 1 Efisiensi penyil %
7	1	Block 1	0.75	7.00	400.00	
12	2	Block 1	2.88	14.00	400.00	
17	3	Block 1	2.88	7.00	300.00	
13	4	Block 1	2.88	7.00	300.00	
1	5	Block 1	0.75	0.00	300.00	
16	6	Block 1	2.88	7.00	300.00	
8	7	Block 1	5.00	7.00	400.00	
15	8	Block 1	2.88	7.00	300.00	
2	9	Block 1	5.00	0.00	300.00	
6	10	Block 1	5.00	7.00	200.00	
14	11	Block 1	2.88	7.00	300.00	
4	12	Block 1	5.00	14.00	300.00	
9	13	Block 1	2.88	0.00	200.00	
10	14	Block 1	2.88	14.00	200.00	
3	15	Block 1	0.75	14.00	300.00	
11	16	Block 1	2.88	0.00	400.00	
5	17	Block 1	0.75	7.00	200.00	

Gambar 3. 5 Hasil optimasi pada program *Design Expert*

2. Pada tahap ini yang harus dilakukan adalah mempersiapkan eceng gondok sesuai dengan variasi konsentrasi yang direncanakan. Penelitian utama yaitu tahap uji fito pengolahan dengan pengoperasian sistem *batch*. Pada penelitian ini juga dibuat reaktor kontrol tanpa pencemar untuk mengetahui neraca massa. Penelitian ini dilakukan selama 4 minggu dan bertujuan untuk mengetahui kemampuan optimum tumbuhan dalam menyerap pencemar dan parameter yang diuji adalah logam berat kromium, pH, suhu, dan laju evapotranspirasi.

3.8 Analisis Data dan Pembahasan

Analisis dan pembahasan didasarkan pada perbandingan hasil pengukuran pada masing-masing reaktor. Hal ini juga menjawab tujuan penelitian yang telah dibuat. Hasil penelitian akan dibuat dalam bentuk grafik box behnken.

3.9 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan berdasarkan hasil analisis data penelitian dan pembahasan. Kesimpulan menjawab tujuan penelitian yang akan dicapai. Saran untuk merekomendasikan untuk penelitian yang akan dilakukan selanjutnya. Tujuan dari rekomendasi ini berguna untuk memperbaiki penelitian selanjutnya.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

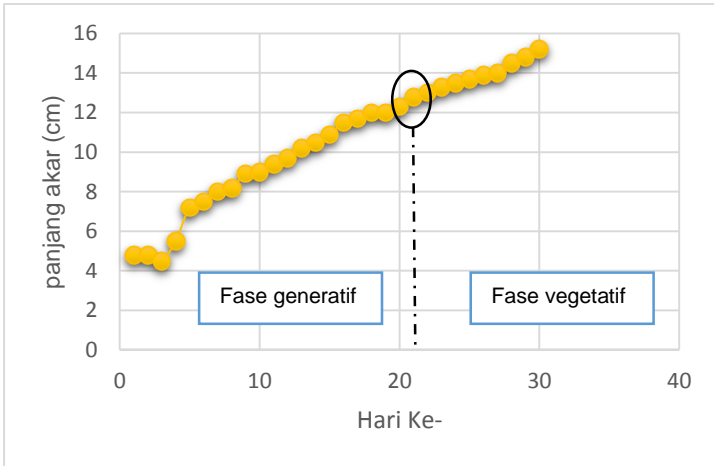
4.1 Tahap Propagasi

Tahap propagasi bertujuan untuk memperbanyak tumbuhan yang diperlukan saat penelitian dan mengetahui laju pertumbuhan yang dilakukan minimal satu bulan. Selama tahap propagasi akan dilakukan pengamatan terhadap pertumbuhan eceng gondok hingga tumbuh tunas (*second generation*). Tumbuhan dengan umur dan rata-rata tinggi yang sama dari hasil pengamatan terhadap laju pertumbuhan ini akan digunakan pada setiap tahapan penelitian, diharapkan dengan demikian kondisi awal tumbuhan yang digunakan adalah sama (Karenlampi *et al.*, 2000).

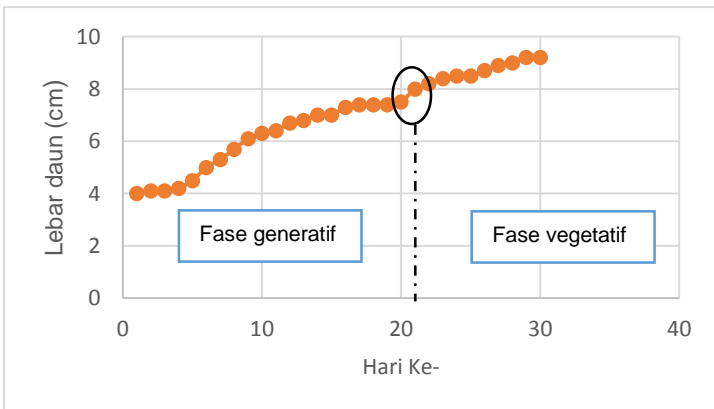
Pengamatan fisik dilakukan pada saat *growth rate* (pertumbuhan tumbuhan) berlangsung. Hal-hal yang diamati antara lain adalah panjang, lebar daun, dan akar tumbuhan. Dari pengamatan terhadap laju pertumbuhan tumbuhan dapat diketahui umur tumbuhan yang digunakan pada tahap selanjutnya. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tumbuhan eceng gondok, di antaranya adalah terdapat cahaya yang cukup yang dibutuhkan oleh tumbuhan untuk tumbuh. Hal ini dikarenakan reaktor diletakkan pada lingkungan yang cukup terbuka sehingga cahaya matahari dapat masuk dan membantu pertumbuhan tumbuhan.

Kemampuan tanaman eceng gondok untuk tumbuh di dalam air sangat bervariasi tergantung pada kandungan unsur hara yang terdapat di dalamnya. Seperti halnya tumbuhan lain, unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman eceng gondok terdiri dari unsur makro: N, P, K, Ca, Mg, Fe, serta unsur mikro: Mn, Zn, dan Cu (Gopal, 1987). Maka dari itu pada tahap ini, setiap 2 minggu sekali diberikan pupuk NPK 16:16:16 sebanyak 2 sendok kemudian dilarutkan dengan air PDAM sebanyak 1 L. Propagasi tumbuhan ini dilakukan selama kurang lebih 30 hari dikarenakan eceng gondok akan memasuki tahap fase vegetatif. Fase vegetatif merupakan fase tumbuhan bisa menyerap kontaminan secara optimal. Eceng gondok dapat tumbuh dalam keadaan sedikitnya unsur hara dan pada perairan yang subur tanaman ini dapat berkembang biak dengan cepat. Berdasarkan pengamatan

terhadap pertumbuhan tumbuhan eceng gondok, semua eceng gondok yang ditanam pada wadah propagasi mengalami perubahan jumlah helai daun, tinggi rata-rata tanaman dan panjang akar. Kondisi pertumbuhan tanaman ini dapat dilihat pada **Gambar 4.1 dan 4.2** merupakan hasil pengamatan laju pertumbuhan *E. crassipes*.



Gambar 4.1 Panjang Akar Eceng Gondok



Gambar 4.2 Lebar Daun Eceng Gondok

Gambar 4.1 menunjukkan pertumbuhan panjang akar pada eceng gondok. Akar eceng gondok menunjukkan variasi yang kecil dalam ketebalan, tetapi panjangnya bervariasi mulai dari 10 – 30 cm (Rahmaningsih, 2006).

4.2 Tahap Aklimatisasi

Tumbuhan yang digunakan dipilih berdasarkan rata-rata umur yang sama yang dilihat dari tinggi tumbuhan sekitar \pm 30 cm. Tumbuhan yang dipilih kemudian diaklimatisasi selama 1 minggu agar tumbuhan mampu beradaptasi dengan lingkungan yang baru sehingga dapat tumbuh dengan baik. Untuk dapat tumbuh dengan baik selama proses aklimatisasi tumbuhan disiram sehari sekali. Berikut adalah **Gambar 4.3** merupakan tahap aklimatisasi tumbuhan.

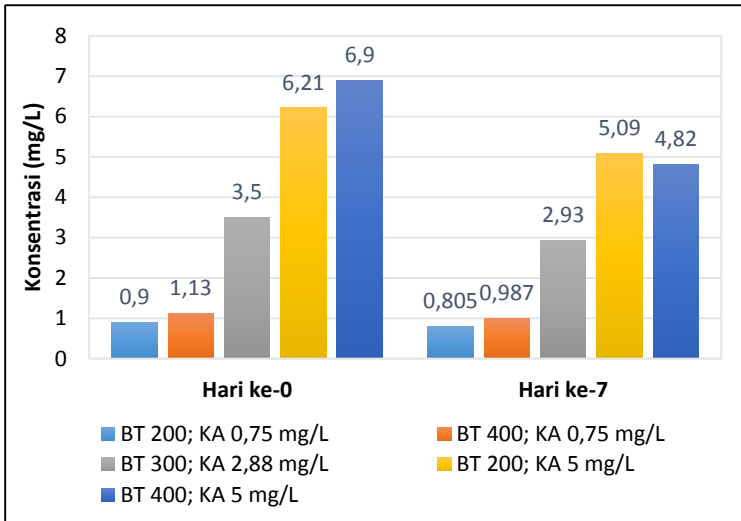


Gambar 4. 3 Tumbuhan eceng gondok pada tahap aklimatisasi

4.3 Penyisihan Kromium Oleh Eceng Gondok

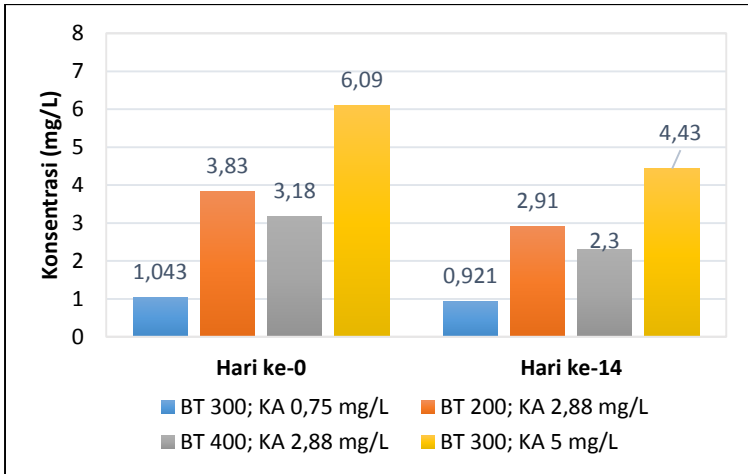
Penelitian fitoremediasi ini bertujuan untuk menganalisis penurunan konsentrasi limbah mengandung kromium (Cr) yang merupakan hasil dari mekanisme fitoproses yang dilakukan tumbuhan eceng gondok. Pada proses fitoremediasi ini digunakan Cr dengan konsentrasi 0,75 mg/L; 2,88 mg/L dan 5 mg/L. Pada Cr 0,75 mg/L dengan berat tumbuhan 200 g di hari ke-7 terjadi penurunan sebesar 0,095 mg/L dimana efisiensi penyisihan yang terjadi adalah 10,56%. Sedangkan pada hari ke-14 dengan berat tumbuhan seberat 300 g didapatkan efisiensi penyisihan sebesar 11,70% dengan penurunan sebesar 0,12 mg/L dari hari pertama

penelitian dilakukan. Penyisihan kromium oleh eceng gondok yang terjadi pada hari ke 7 dan 14 cenderung naik hal ini dapat disebabkan karena faktor penyerapan logam yang dilakukan oleh tumbuhan eceng gondok berlangsung secara baik. Semakin lama waktu kontak semakin besar penyisihan yang dicapai (Perdana, 2007). Berikut adalah **Gambar 4.4** hingga **4.6** penurunan logam kromium dan efisiensi penyisihan oleh eceng gondok.



Gambar 4. 4 Penyisihan kromium oleh eceng gondok hingga hari ke-7

Seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 4.4**, penyisihan kromium yang dihasilkan dari konsentrasi awal kromium 1,13 mg/L dan berat tumbuhan 400 g adalah 0,143 mg/L. Penurunan tersebut didapatkan setelah 7 hari penelitian. Berbeda hal nya dengan konsentrasi awal kromium 6,9 mg/L dan berat tumbuhan 400 g yang mengalami penurunan hingga 4,82 mg/L. Hal ini dapat disebabkan oleh semakin pekatnya konsentrasi yang terdapat dalam reaktor berbanding lurus dengan banyaknya kromium yang disisihkan oleh eceng gondok.



Gambar 4. 5 Penyisihan kromium oleh eceng gondok hingga hari ke-14

Berdasarkan **Gambar 4.4** hingga **4.5** dapat terlihat bahwa penurunan konsentrasi Cr^{6+} pada hari ke-0 hingga hari ke-7 cenderung cepat untuk semua variasi berat tumbuhan. Hal ini dapat disebabkan oleh tingkat adaptasi yang bagus oleh tumbuhan eceng gondok dengan media tumbuh atau lingkungannya sehingga dapat menyerap Cr^{6+} dengan maksimal. Efek toksik dari Cr yang utama tergantung pada spesiasi logam, yang menentukan serapan, yaitu translokasi dan mekanisme akumulasi. Keadaan oksidasi kromium sangat mempengaruhi tingkat penyerapan kromium itu sendiri. Cr^{6+} dapat dengan mudah melintasi membran sel dan pembawa fosfat sulfat mengangkut anion kromat. Ini membentuk jumlah asam oksida dan anion yang stabil, termasuk HCrO_4^- (Hidrochromat), $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ (dikromat), dan CrO_4^{2-} (kromat). Ion kromat memiliki potensi ionik yang besar dan koordinasi tetrahedral yang bertindak sebagai asam kuat dan agen pengoksidasi. Sifat toksik Cr^{6+} berasal dari aksi bentuk ini sendiri sebagai zat pengoksidasi, dikenal juga sebagai pembentukan dari radikal bebas selama reduksi Cr^{6+} menjadi Cr^{3+} di dalam sel (Patel and Giri, 2011). Akar pada tumbuhan eceng gondok mengandung ion-ion yang dapat mengikat atau menyerap logam berat. Menurut

Foth (1991 dalam Rita, 2009), penyerapan ion dalam tanaman eceng gondok terjadi apabila dua hal terpenuhi. Hal penting yang pertama adalah adanya energi metabolik yang diperlukan dalam penyerapan unsur hara sehingga apabila respirasi akan dibatasi sebenarnya sedikit. Kedua, proses pengambilan bersifat selektif karena tanaman mempunyai kemampuan menyeleksi penyerapan ion tertentu pada kondisi lingkungan yang luas.

Pada hari ke-7 hingga ke-14 pada semua variasi konsentrasi dan berat tumbuhan, penurunan konsentrasi Cr^{6+} tidaklah terlalu signifikan hal ini disebabkan oleh kemampuan tumbuhan dalam penyerapan mulai menurun dan tumbuhan eceng gondok mulai memasuki fase jenuh terhadap Cr^{6+} . Hal tersebut juga dapat dipengaruhi oleh faktor akumulasi logam berat yang semakin bertambah pada tumbuhan eceng gondok tersebut. Menurut Priyanto dan Prayitno (2004) proses penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dibagi menjadi tiga proses yaitu penyerapan oleh akar, translokasi, dan lokalisasi. Eceng gondok merupakan tumbuhan berakar serabut oleh karena itu tumbuhan ini mempunyai kemampuan dalam proses penyerapan yang cepat. Berdasarkan penelitian, tumbuhan ini mempunyai akar yang panjang apabila tumbuh dalam air (tanpa lumpur) sehingga pada beberapa eceng gondok mempunyai panjang akar hampir 50% dari keseluruhan panjang tumbuhan itu sendiri. Tumbuhan air jenis mengapung umumnya menyerap logam berat melalui akar dan batangnya tetapi untuk eceng gondok lebih tinggi mengakumulasi logam berat di akar daripada di batang (Zhu dkk, 1999).

Eceng gondok dengan kerapatan setara dengan berat tumbuhan sebesar 400 g dalam reaktor berukuran 42 cm x 26 cm x 24,5 cm memberikan hasil yang terbesar di dalam penurunan konsentrasi Cr^{6+} , yaitu telah menurunkan 30,14% dengan variasi konsentrasi awal Cr^{6+} sebesar 5 mg/L. Berbeda dengan kondisi tumbuhan pada reaktor dengan kerapatan tumbuhan 200 g yang dapat tumbuh dengan subur dibandingkan dengan reaktor lain. Hal ini dikarenakan pada reaktor tersebut variasi berat tumbuhan yang digunakan tidak terlalu rapat yaitu 200 g sehingga tumbuhan mempunyai ruang yang cukup untuk mendapatkan sinar matahari dan melakukan proses penyerapan secara maksimal. Begitu pula sebaliknya dengan reaktor berisi berat tumbuhan sebesar 400 g, dikarenakan padatnya kerapatan tumbuhan maka hal itu

mempengaruhi tumbuhan untuk melakukan penyerapan logam Cr^{6+} lebih banyak. Namun apabila kerapatan tumbuhan terlalu besar juga dapat menyebabkan tumbuhan tidak dapat tumbuh dengan baik.

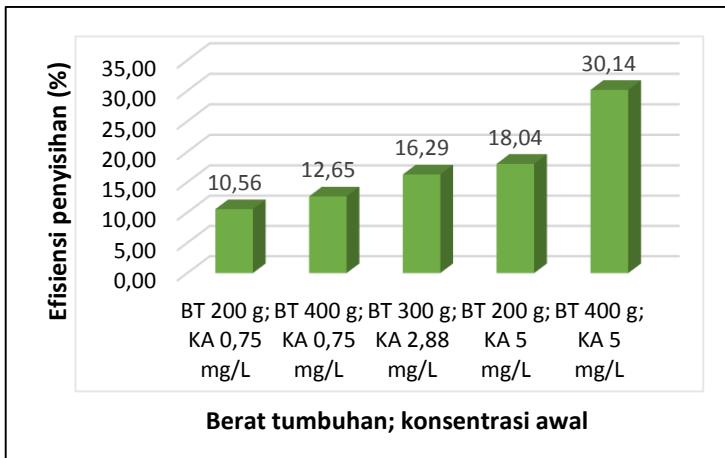
Dari penjelasan penurunan konsentrasi kromium diatas dapat dihitung persen (%) penyisihan kromium oleh tumbuhan eceng gondok dengan rumus sebagai berikut:

$$\% \text{ penyisihan} = \frac{\text{konsentrasi awal Cr} - \text{konsentrasi akhir Cr}}{\text{konsentrasi awal Cr}} \times 100\%$$

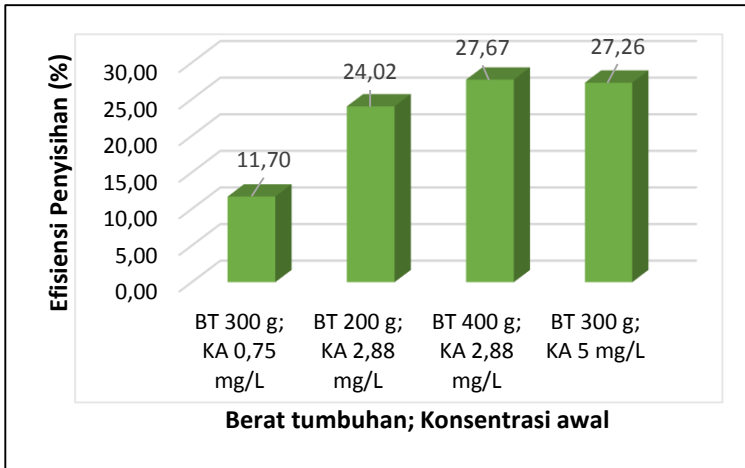
Sebagai contoh adalah perhitungan reaktor yang memiliki berat tumbuhan sebesar 400 g dengan konsentrasi awal Cr^{6+} 6,9 mg/L dan konsentrasi akhir 0,32 mg/L adalah:

$$\begin{aligned} \% \text{ penyisihan} &= \frac{6,9 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 4,82 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{6,9 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} \times 100\% \\ &= 30,14\% \end{aligned}$$

Berikut adalah **Gambar 4.6** untuk grafik efisiensi penyisihan kromium oleh tumbuhan eceng gondok pada hari ke 7 dan 14.



Gambar 4. 6 Efisiensi Penyisihan Kromium pada hingga hari ke-7



Gambar 4. 7 Efisiensi Penyisihan Kromium pada hingga hari ke-14

Dari hasil perhitungan diatas dapat dilihat hasil efisiensi penyisihan sesuai dengan yang diminta oleh model *design box behnken*. Running yang diperlukan hanya 17, namun untuk mendapatkan nilai efisiensi penyisihan maka seluruh sampel pada hari ke-0 harus dianalisis. Pada **Gambar 4.6** dan **4.7** menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan kromium dengan konsentrasi awal Cr sebesar 5 mg/L dapat mencapai 30,14% dengan variasi berat tumbuhan sebanyak 400 g, hal ini dapat terjadi karena berdasarkan penelitian Hartanti *et al.* (2014) kerapatan tumbuhan berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi kromium. Semakin tinggi tingkat kerapatan tumbuhan maka semakin kecil pula konsentrasi kromium, hal ini disebabkan karena kandungan kromium pada limbah cair telah diserap oleh akar eceng gondok dengan kerapatan yang berbeda. Namun berbeda dengan hasil pada **Gambar 4.7** efisiensi penyisihan yang dihasilkan pada kromium dengan konsentrasi awal Cr sebesar 2,88 mg/L dan 5 mg/L variasi berat tumbuhan eceng 400 g dan 300 g tidak mengalami penyisihan yang jauh berbeda. Hal ini mungkin saja terjadi karena kemampuan tumbuhan eceng gondok dalam

menyerap kromium yang kurang maksimal didasarkan pada kemampuan tumbuhan itu sendiri.

Pada penelitian Pujawati (2006) dikemukakan bahwa kemampuan penyerapan eceng gondok juga karena pada akarnya terdapat mikrobia rhizosfera yang mengakumulasi logam berat. Mikrobia rhizosfera adalah bentuk simbiosis antara bakteri dengan jamur, yang mampu melakukan penguraian terhadap bahan organik maupun anorganik yang terdapat dalam air serta menggunakannya sebagai sumber nutrisi.

Dari beberapa gambar diatas dapat disimpulkan bahwa tumbuhan eceng gondok setelah hari ke-7 tidak mengalami penyerapan logam secara maksimal, hal tersebut dibuktikan dengan tumbuhnya bunga pada hari ke-10 di beberapa reaktor. Hal ini menunjukkan bahwa tumbuhan eceng gondok tersebut telah berada diakhir fase pertumbuhan vegetatif karena tumbuhan eceng gondok akan tumbuh bunga dalam keadaan yang sudah tidak lagi memungkinkan (Mangkoediharjo, 2002). Pada konsentrasi yang lebih tinggi, diatas 10 mg/L, eceng gondok mulai menguning dan efisiensi penyisihan menurun (Ingole and Bhole, 2003).



Gambar 4. 8 Tumbuhan eceng gondok mulai tumbuh bunga dan menguning

Keadaan tumbuhan eceng gondok pada minggu ke-2 pun mulai terlihat layu dan menguning. Hal ini dapat diperkirakan bahwa tumbuhan telah menyerap beberapa kromium yang berada pada air. Kromium dapat menyebabkan keracunan tumbuhan yang

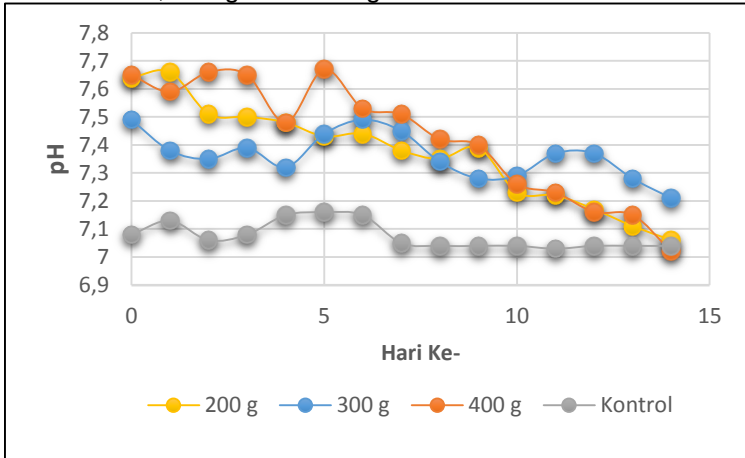
ditandai oleh adanya klorosis terutama pada daun muda. Hal tersebut dapat terjadi karena kromium terakumulasi di dalam jaringan tumbuhan sehingga menyebabkan tumbuhan keracunan (Panda, 2005). Menurut McGrath (1995) kromium dapat mempengaruhi akar pada tumbuhan sehingga menyebabkan daun menguning dan plasmolisis dalam sel-sel akar. Selain karena adanya akumulasi kromium yang menyebabkan perubahan fisik tumbuhan menjadi lebih layu, faktor lain penyebab kemampuan tumbuhan dalam melakukan penyerapan adalah konsentrasi logam yang diserap dan jenis logam itu sendiri. Menurut penelitian Daniel *et al.* (2011), penyerapan meningkat dengan meningkatnya konsentrasi Cr di air dalam rentang konsentrasi yang lebih rendah tetapi karena konsentrasi semakin meningkat maka penyerapan menurun. Hal ini dapat membuktikan bahwa pada konsentrasi yang lebih tinggi tumbuhan rentan terhadap keracunan Cr dan juga biomassa menurun selama tahap ini.

4.4 Analisis pH dan Suhu

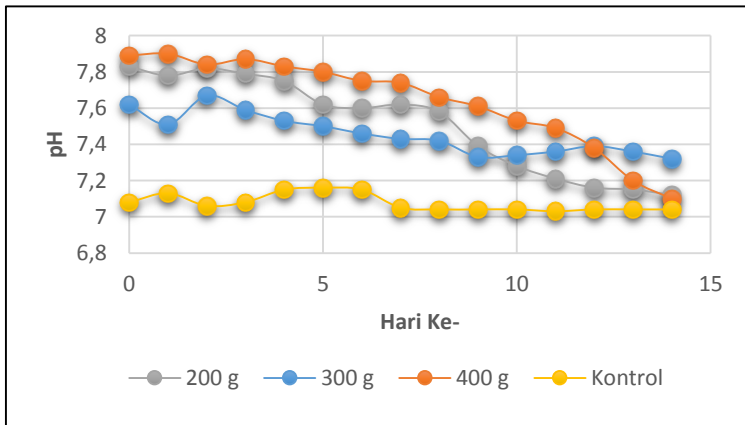
Selama penelitian dilakukan pengukuran pH sebagai parameter pendukung. Hal ini dilakukan untuk melihat pengaruh pH selama proses penyisihan logam berat terjadi. Berdasarkan hasil pengukuran pH selama penelitian, nilai pH berada dalam kisaran yang normal (7,0-7,9) sehingga pada pH tersebut eceng gondok masih dapat untuk tumbuh dan berkembang biak. Faktor fisik lingkungan mempengaruhi kelangsungan hidup tumbuhan dan laju akumulasi Cr, salah satunya adalah pH air. Dapat dilihat pada grafik diatas bahwa pH air yang mengandung logam berat kromium mengalami penurunan selama proses penyisihan oleh tumbuhan eceng gondok. pH air dipengaruhi oleh kelarutan logam dalam air. Berikut adalah **Gambar 4.9** hasil pengamatan pH pada konsentrasi Cr sebesar 0,75 mg/L.

Pada pH asam, unsur yang terikat jaringan tumbuhan akan semakin meningkat sedangkan apabila pH basa maka unsur yang terserap jaringan tumbuhan semakin sedikit karena menyebabkan metabolisme menjadi terganggu (Syahputra, 2005). Nilai pH dapat mempengaruhi proses biokimiawi misalnya proses penyerapan logam Pb akan berakhir jika pH rendah yaitu kisaran 3-4 (Effendi, 2003). Menurut penelitian Hartanti *et al.* (2014) penurunan nilai

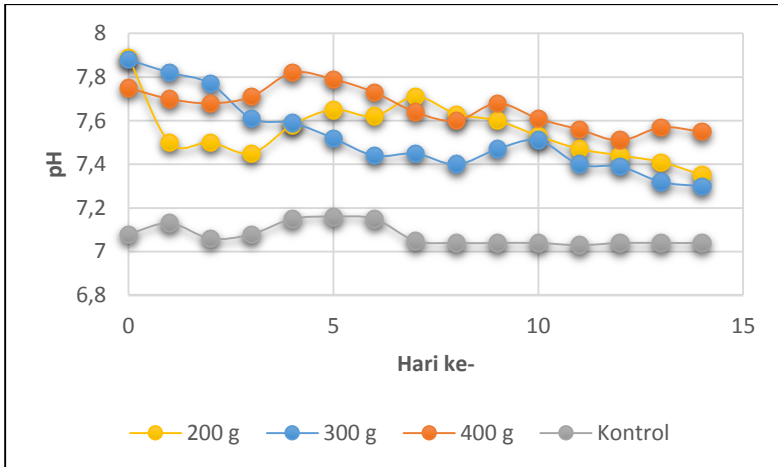
derajat keasaman disebabkan karena kromium telah diserap atau diikat oleh akar tanaman eceng gondok sehingga memudahkan mikroba perombak dalam proses pendegradasian. Berikut adalah **Gambar 4.9** hingga **4.11** hasil pengamatan pH pada konsentrasi Cr sebesar 2,88 mg/L dan 5 mg/L.



Gambar 4. 9 Pengamatan pH pada konsentrasi awal Cr sebesar 0,75 mg/L



Gambar 4. 10 Pengamatan pH pada konsentrasi awal Cr sebesar 2,88 mg/L

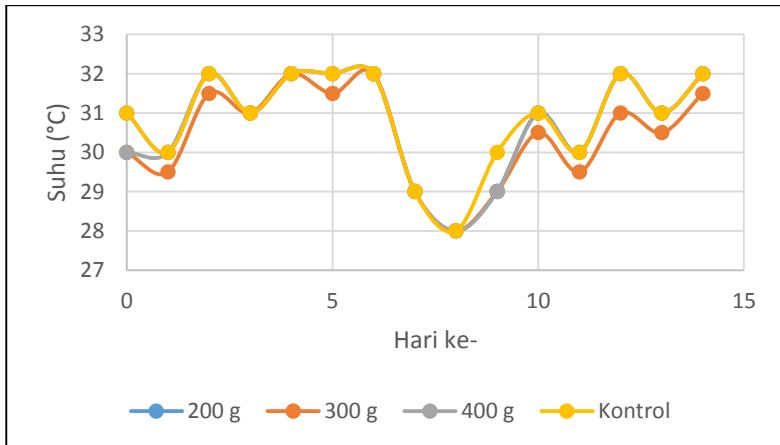


Gambar 4. 11 Pengamatan pH pada konsentrasi awal Cr sebesar 5 mg/L

Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa perlakuan dengan eceng gondok berpengaruh terhadap pH air. Perbedaan rata-rata pH air antar perlakuan kemungkinan disebabkan oleh pernapasan akar yang terjadi di dalam air. Dalam pernapasan akar, akan diserap O_2 dan dikeluarkan CO_2 . Reaksi antara CO_2 dengan unsur-unsur yang ada dalam air dapat mengakibatkan keadaan asam. Kemungkinan semakin banyaknya CO_2 dalam air menyebabkan pH air lama-kelamaan mendekati pH standar (7). Perlakuan penggunaan tumbuhan eceng gondok sebanyak 30%, 60% dan 90% pada hari ke 7,14 dan 21 pada pengolahan biologis limbah rumah pemotongan hewan, menunjukkan penurunan pH secara nyata sampai 24,3% dari nilai awal (Suardana, 2009).

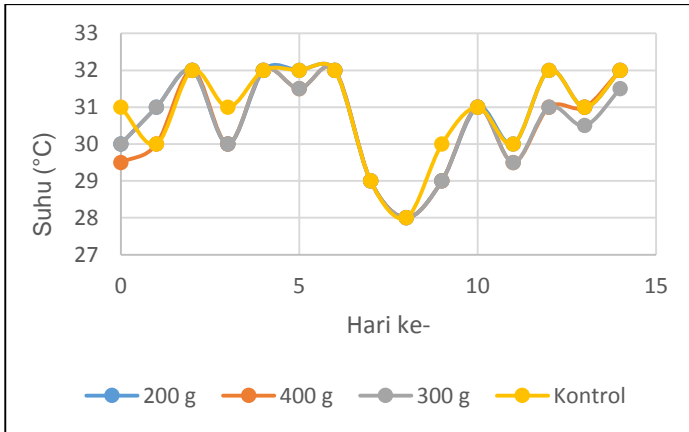
Menurut Trihadiningrum (2016) setiap jenis logam berat mempunyai kelarutan terendah yang spesifik pada pH tertentu, misalnya kelarutan minimum Cr^{3+} terjadi pada pH 8,5. Hal tersebut menunjukkan bahwa suatu nilai pH yang memberikan % penurunan kadar logam berat tertentu belum tentu memberikan % penurunan yang sama untuk jenis logam berat yang berbeda. Hal tersebut menimbulkan kesulitan dalam pengolahan limbah industri yang mengandung berbagai jenis logam.

Selain pH, dilakukan juga pengamatan terhadap suhu selama proses penyerapan logam karena berhubungan dengan proses evaporasi. Proses evaporasi itu sendiri dipengaruhi oleh faktor cuaca seperti cahaya matahari, angin, dan kelembaban. Berikut adalah **Gambar 4.12** pengamatan suhu dengan konsentrasi Cr sebesar 0,75 mg/L.

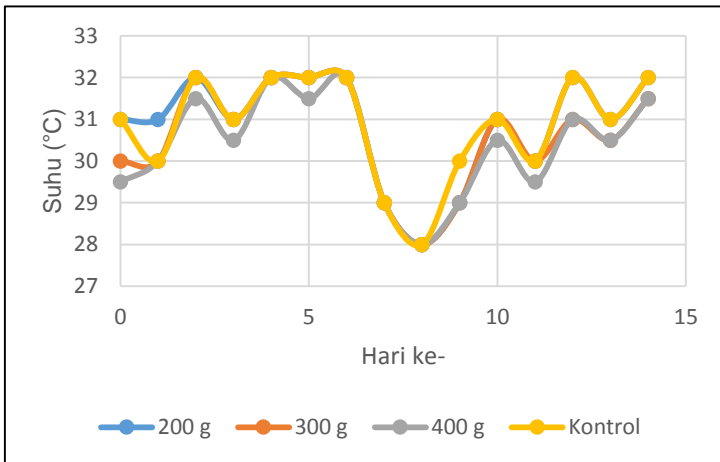


Gambar 4. 12 Pengamatan suhu pada konsentrasi awal Cr sebesar 0,75 mg/L

Suhu menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah tumbuhan, semakin memperlambat naiknya suhu. Pengaruh penyebaran permukaan air dan lebar daun mempengaruhi rata-rata suhu air. Dimana menunjukkan bahwa semakin luas permukaan daun yang menutupi permukaan air, suhu air makin rendah. Dapat disimpulkan bahwa adanya eceng gondok dapat menghambat naiknya suhu. Pertumbuhan eceng gondok sangat memerlukan cahaya yang cukup, dengan suhu optimum antara 25 °C-30°C, tumbuhan ini dapat bertahan dengan baik di daerah beriklim tropis. Dibawah ini adalah **Gambar 4.13** dan **4.14** pengamatan suhu pada konsentrasi Cr sebesar 2,88 mg/L dan 5 mg/L.



Gambar 4. 13 Pengamatan suhu pada konsentrasi awal Cr sebesar 2,88 mg/L

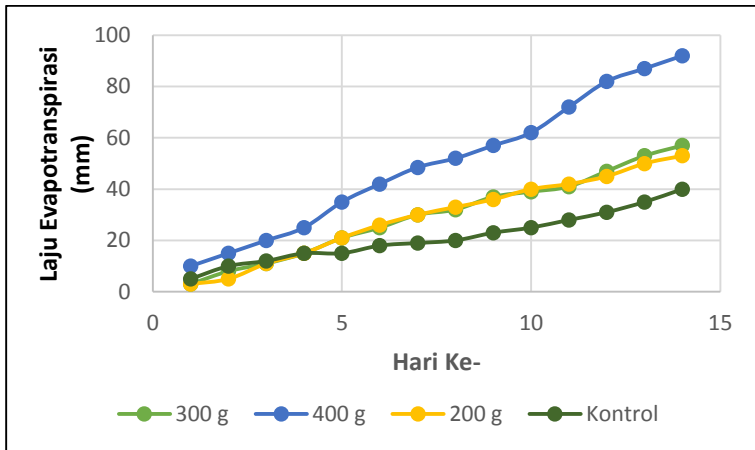


Gambar 4. 14 Pengamatan suhu pada konsentrasi awal Cr sebesar 5 mg/L

4.5 Analisis Evapotranspirasi

Pengukuran kehilangan air dilakukan untuk mengetahui seberapa banyak air yang hilang akibat dari proses penguapan

baik secara evaporasi atau evapotranspirasi. Dari pengukuran ini kemudian akan diketahui volume air yang hilang akibat penguapan itu sendiri. Berikut adalah **Gambar 4.15** hasil pengamatan proses evapotranspirasi pada konsentrasi 0,75 mg/L

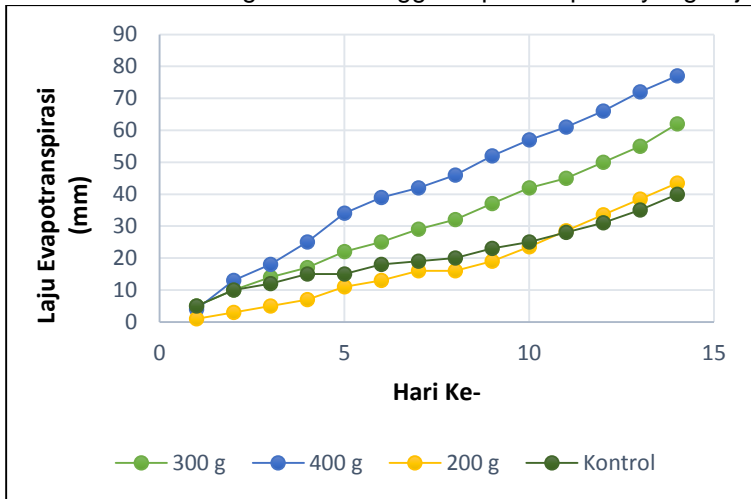


Gambar 4. 15 Laju evapotranspirasi pada konsentrasi awal Cr sebesar 0,75 mg/L

Pada hari ke-8 pengamatan terjadi hujan yang menyebabkan tingkat kelembaban yang terjadi cukup tinggi sehingga penguapan air kecil. Di dalam reaktor kontrol, dimana reaktor tersebut tidak mengandung logam berat kromium proses evapotranspirasi berlangsung stabil. Proses evapotranspirasi selalu terjadi pada daerah yang terdapat tumbuhan. Evapotranspirasi merupakan salah satu mekanisme yang dapat menghilangkan bahan pencemar dalam air limbah. Menurut Mangkoediharjo (2002) eceng gondok dapat diandalkan dalam proses evapotranspirasi air limbah. Evapotranspirasi akan mengurangi kuantitas air dan zat-zat dalam air limbah. Dapat disimpulkan bahwa proses evapotranspirasi berhubungan dengan penurunan konsentrasi logam Cr^{6+} namun penurunan ini tidak berhubungan dengan laju evapotranspirasi. Laju evapotranspirasi tidak hanya bergantung dari bagaimana tumbuhan itu mengambil air dari tanah tetapi juga

kemampuan atmosfer menyerap tumbuhan. Selain itu juga laju evapotranspirasi tergantung pada cahaya matahari di permukaan tanah, kelembaban, temperatur, dan angin (*Department of the Environment Heritage, 2005*).

Volume air saat proses evapotranspirasi berbeda-beda, bisa dilihat pada **Gambar 4.16**. Hal ini dikarenakan adanya faktor cuaca yang berbeda-beda setiap harinya. Tidak hanya faktor cuaca namun juga faktor banyaknya tumbuhan pada setiap reaktor juga mempengaruhi faktor evapotranspirasi ini karena semakin banyak tumbuhan cenderung semakin tinggi evapotranspirasi yang terjadi.



Gambar 4. 16 Laju evapotranspirasi pada konsentrasi awal Cr sebesar 2,88 mg/L

4.6 Analisis *Response Surface Methodology*

Hasil analisis terhadap variabel diatas kemudian dimasukkan ke dalam *software design expert 6.0.10*. Berikut ini **Tabel 4.1** hasil analisis uji parameter Cr berdasarkan variasi konsentrasi, waktu, dan berat tumbuhan yang digunakan.

Tabel 4. 1 Hasil Analisis Berdasarkan Konsentrasi, Waktu, dan Berat dari Software Design Expert 6.0.10

Std	Response 1 Efisiensi Penyisihan (mg/L)
1	27,26
2	24,02
3	16,29
4	16,29
5	18,04
6	16,29
7	0
8	0
9	0
10	10,56
11	30,14
12	16,29
13	12,65
14	0
15	27,67
16	16,29
17	11,7

Hasil yang diperoleh dianalisis menggunakan model design box behnken yaitu dengan bantuan software *Design Expert 6.0*. Kemudian dapat dilihat **Tabel 4.2** untuk analisis varian (ANOVA) yang didapatkan dari model. ANOVA adalah teknik analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi antara pentingnya model dengan parameter yang digunakan. Di dalam ANOVA didapatkan nilai F yang lebih besar dan nilai P yang lebih kecil yang mana hal tersebut menunjukkan adanya koefisien yang lebih signifikan.

Tabel 4. 2 Hasil Analisis Varian (ANOVA)

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	Keterangan
Model	1522,1	9	169,12	26,18	0,0001	Signifikan
Residual	45,21	7	6,46			
<i>Lack of Fit</i>	45,21	3	15,07			
<i>Pure Error</i>	0	4	0			
Cor Total	1567,31	16				

Tabel 4. 3 Hasil Fit Summary

Source	Sum of Squares	R-Squared	Adjusted R-Squared	F-value	Suggestion
Linear	295,02	0,8118	0,7683	18,69	Suggested
Quadratic	45,21	0,9712	0,9341	8,3	Suggested
Cubic	0	1	1		Aliased

Penentuan model yang digunakan dapat diperoleh dari **Tabel 4.3** yang menunjukkan kesimpulan statistik dari setiap model yang dihasilkan oleh *Design Expert* 6.0.10. Model kuadratik disarankan meskipun model tersebut memiliki R^2 dan adj- R^2 lebih rendah dibandingkan model kubik. Hal ini dikarenakan model kubik menunjukkan *aliased*, yang berarti bahwa hubungan antara variabel pada model tersebut tidak dapat dibedakan. Koefisien determinasi (R^2) merupakan rasio variasi yang menjelaskan korelasi antara jumlah variasi dan ukuran tingkat kecocokan (Milton and Kurien, 1959).

Berdasarkan penelitian Joglekar and May (1987), model yang baik setidaknya menghasilkan regresi (R^2) = 0,8. Dalam model ini, R^2 yang paling mendekati 1,00 yaitu model dengan persamaan kuadratik. Hal ini menunjukkan bahwa model respons yang dievaluasi dalam penelitian ini dapat menjelaskan reaksi dengan sangat baik, yaitu R^2 0,9712 dan Adj- R^2 0,9341 pada tingkat kepercayaan 97%. Nilai F-value pada model menunjukkan angka

<0,0500 yang mengindikasikan model yang digunakan signifikan. Data tersebut dianalisis menggunakan regresi polinomial orde kedua (Persamaan 4.1). Persamaan tersebut adalah:

$$\eta = \beta_0 + \beta_1A + \beta_2B + \beta_3C + \beta_{11}A^2 + \beta_{22}B^2 + \beta_{33}C^2 + \beta_{12}AB + \beta_{13}AC + \beta_{23}BC \dots \dots \dots (4.1)$$

Nilai β_0 didapatkan dari hasil respon tetap pada desain dan $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ adalah koefisien linier dan $\beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23}$ adalah koefisien interaksi dari ketiga variabel yang dimasukkan ke dalam model. Persamaan regresi yang diperoleh merupakan penjelasan dari perkiraan penyisihan kromium oleh eceng gondok dengan tiga variabel yang berbeda yaitu konsentrasi kromium, lama waktu penyisihan, dan berat tumbuhan yang digunakan dapat dilihat pada Persamaan 4.2.

$$\eta = 16,29 + 5,07A + 11,33B + 2,23C - 0,81A^2 - 5,74B^2 + 2,37C^2 + 3,89AB + 2,5AC + 0,69BC \dots \dots \dots (4.2)$$

dimana A adalah konsentrasi kromium, B adalah waktu penyisihan, dan C adalah berat tumbuhan yang digunakan. Menurut Qiu *et al.* (2014), setelah signifikansi antar variabel dievaluasi kemudian model dapat ditingkatkan dengan menghilangkan variabel yang tidak terlalu signifikan. Hasil akhir dari model yang digunakan untuk menjelaskan hubungan antara variabel dengan efisiensi penyisihan kromium kemudian dapat dihitung pada Persamaan 4.3.

$$\eta = 16,29 + 5,07(4,81) + 11,33(14) - 0,81(4,81^2) - 5,74(14^2) + 0,69(4,81)(14) \dots \dots \dots (4.3)$$

$$\eta = 36,76\%$$

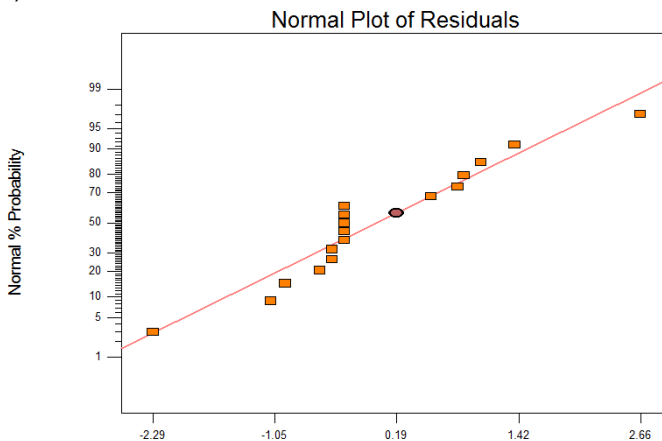
Berdasarkan modifikasi model dengan menghilangkan variabel berat tumbuhan maka didapatkan hasil *fit summary* yang dapat dilihat pada **Tabel 4.3**. Nilai R^2 (0,9712) yang dihasilkan menurun namun $adj-R^2$ mengalami peningkatan menjadi 0,938,

yang mana faktor tersebut lebih penting bagi kecocokan model regresi yang digunakan. Di samping itu, nilai $\text{prob} > F$ adalah $< 0,0001$ yang mengindikasikan bahwa model yang digunakan signifikan (Qiu *et al.*, 2014).

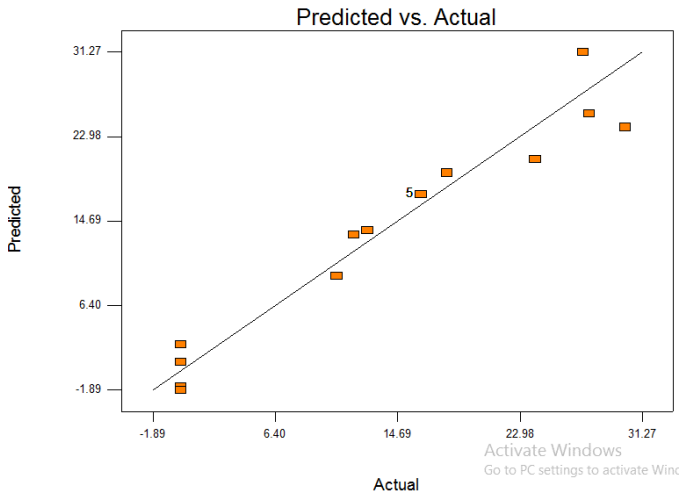
Tabel 4. 4 Hasil Fit Summary Modifikasi

Source	Sum of Squares	R-Squared	Adj R-Squared	Prob > F	Suggestion
Quadratic	1470,7	0,9007	0,938	$< 0,0001$	Suggested

Kemudian dilakukan uji distribusi normal yang bertujuan untuk mengamati penyimpangan model. Residual dikatakan telah mengikuti distribusi normal jika pada plot kenormalan residual, titik residual yang dihasilkan telah sesuai atau mendekati garis lurus yang ditentukan. Nilai residu menunjukkan nilai yang diamati pada pengukuran dengan prediksi. Semakin kecil nilai residu maka prediksi model yang dihasilkan semakin akurat (Imron, 2018). Seperti pada gambar dibawah ini. Residual yang dimaksudkan pada gambar di atas merupakan selisih antara nilai duga (*predicted value*) dengan nilai pengamatan sebenarnya (*actual value*).



Gambar 4.17 Nilai Uji Distribusi Normal



Gambar 4.18 Nilai Aktual vs Prediksi Penyisihan Kromium

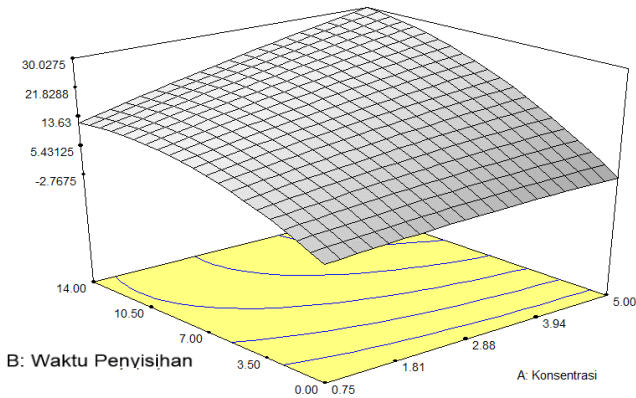
Pada pengujian distribusi normal (**Gambar 4.18**) menunjukkan hubungan antara nilai residu dan nilai normal pada proses penyisihan Cr. Nilai residu merupakan selisih antara nilai aktual dan nilai prediksi dan nilai tersebut tidak dijelaskan pada model (Deniz and Mevlut, 2011). Semakin kecil nilai residu maka prediksi model yang dihasilkan semakin akurat.

Hubungan antara nilai prediksi dan nilai penelitian dari penyisihan kromium oleh eceng gondok ditunjukkan pada **Gambar 4.19**. Angka-angka pada model menunjukkan nilai yang dikembangkan memadai dan nilai prediksi sesuai dengan data yang diukur. Nilai *predicted vs actual* menunjukkan hubungan linier antara efisiensi penyisihan yang diprediksi dan penelitian. Nilai aktual ditentukan dari desain sedangkan nilai prediksi diperoleh dari pendekatan model yang digunakan. Dengan cara ini, residual dapat diperiksa untuk menentukan seberapa baik model memenuhi asumsi ANOVA.

Response surface dapat divisualisasikan dalam bentuk grafis maupun plot kontur. Grafik ini sangat membantu untuk melihat bentuk permukaan respon, yaitu berupa titik maksimum respon, titik minimum respon maupun titik pelana respon. Untuk variabel

bebas berjumlah tiga akan divisualisasikan dalam bentuk tiga dimensi. Oleh karena itu fungsi variabel bebas $f(x_1, x_2, x_3)$ dapat diplot versus variabel respon Y.

Untuk menggambarkan hasil plot kontur, respon hanya dapat digambarkan dalam tiga dimensi sesuai hasil pemodelan kuadratik. Hasil *running* untuk program *response surface* menghasilkan dua gambar berupa grafik *contour* dan grafik *surface* seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.19** dibawah ini.

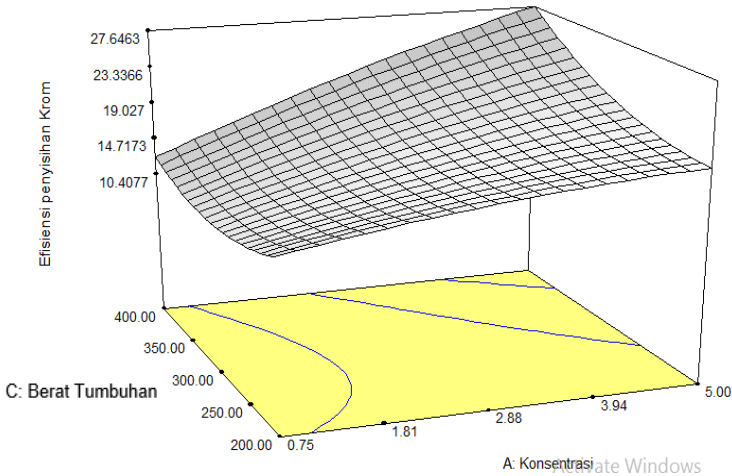


Gambar 4. 19 Interaksi Pengaruh Efisiensi Penyisihan Kromium terhadap Konsentrasi Kromium dan Waktu Penyisihan

Hubungan antara efisiensi penyisihan kromium oleh eceng gondok dengan kedua variabel ditunjukkan dalam grafik 3D diatas. Pada kondisi tersebut terlihat bahwa dengan konsentrasi Cr sebesar 5 mg/L dan waktu penyisihan selama 14 hari didapatkan efisiensi penyisihan kromium oleh eceng gondok mencapai 30,02%. Setiap plot menunjukkan isi dari dua variabel dalam rentang yang diteliti dengan variabel lainnya tetap pada level nol.

Bentuk plot kontur menunjukkan sifat dan luasan interaksi antar faktor. Plot kontur elips menunjukkan interaksi yang menonjol, sedangkan efek diabaikan muncul sebagai plot kontur melingkar. Interaksi antara faktor yang mempengaruhi proses penyisihan kromium dapat dilihat pada gambar diatas dan dapat dilihat juga pengaruh variabel yang digunakan yaitu variasi konsentrasi

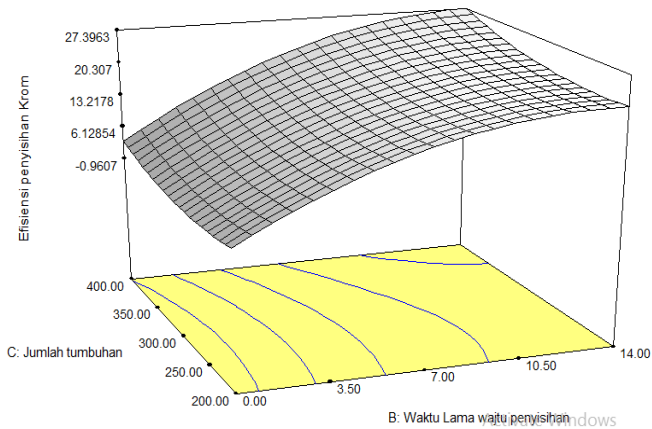
kromium, lama waktu penyisihan, serta berat tumbuhan yang digunakan.



Gambar 4. 20 Interaksi Pengaruh Efisiensi Penyisihan Kromium terhadap Konsentrasi Kromium dan Jumlah Tumbuhan

Pada **Gambar 4.20** menunjukkan nilai efisiensi penyisihan kromium hanya mencapai 27,64% apabila konsentrasi Cr yang digunakan adalah 5 mg/L dengan berat tumbuhan 400 g. Hal tersebut mengindikasikan bahwa semakin tinggi konsentrasi dan berat tumbuhan yang digunakan untuk mereduksi kromium maka kemampuan eceng gondok untuk melakukan proses fitoremediasi semakin besar.

Efisiensi penyisihan yang didapatkan sebesar 33,58%. Untuk memastikan validitas respons optimal yang diprediksi berdasarkan design box behnken menghasilkan efisiensi penyisihan sebesar 36,76% (Persamaan 4.3). Kecocokan antara penelitian dan prediksi diverifikasi dengan perhitungan selisih antara hasil optimasi yang didapatkan oleh model dan persamaan kuadrat (Persamaan 4.2).



Gambar 4. 21 Interaksi Pengaruh Efisiensi Penyisihan Kromium terhadap Waktu Penyisihan dan Jumlah Tumbuhan

4.7 Nilai Optimum Penyisihan Kromium oleh Eceng Gondok

Fungsi optimasi dalam Desain *Box behnken* digunakan untuk memperoleh kondisi optimal untuk penyisihan kromium pada variasi konsentrasi, lama waktu penyisihan selama, dan berat tumbuhan. Untuk menentukan kondisi optimum diatur batas yang telah ditentukan sesuai dengan ketiga variabel tersebut. Sedangkan untuk perkiraan penyisihan kromium oleh eceng gondok diatur pada kondisi yang maksimum. Berikut adalah hasil optimasi penyisihan kromium oleh eceng gondok dapat dilihat pada **Gambar 4.22**.

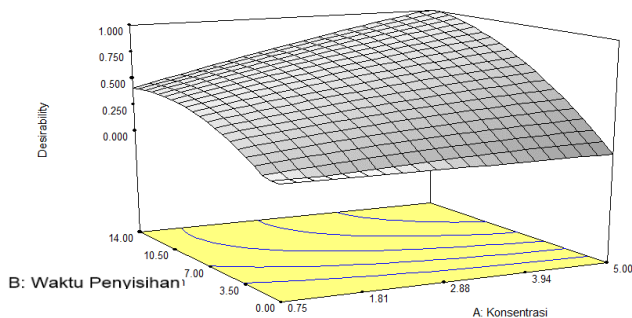
Hasil *desirability* atau hasil kualitas produk yang diinginkan dalam suatu penelitian menunjukkan nilai 1,00. Nilai tersebut didapatkan dari respon efisiensi penyisihan kromium, nilai pH, dan suhu yang dimasukkan. Nilai 1,00 termasuk dalam kategori *excellent* artinya nilai hasil produk adalah kualitas yang paling baik dan tidak dibutuhkan perbaikan untuk meningkatkan kualitas model.

Name	Goal	Lower	Upper	Lower	Upper	Importance
		Limit	Limit	Weight	Weight	
Konsentrasi	is in range	0,75	5	1	1	3
Waktu Penyisihan	is in range	0	14	1	1	3
Jumlah Tumbuhan	is in range	200	400	1	1	3
Efisiensi Penyisihan	maximize	0	30,14	1	1	3

Solutions						
Number	Konsentrasi	Waktu Penyisihan	Berat Tumbuhan	Efisiensi Penyisihan	Desirability	
1	4,81	13,39	366,2	33,5871	1,00	Selected
2	3,75	12,62	396,36	30,9871	1,00	
3	4,9	13,25	317,71	30,2588	1,00	
4	4,61	9,95	396,56	31,7111	1,00	
5	4,91	13,09	347,04	32,2203	1,00	
6	4,91	13,97	323,31	31,1082	1,00	
7	4,94	13,9	395,04	37,2168	1,00	
8	3,95	11,79	391,51	30,8028	1,00	
9	3,96	13,27	399,11	32,6288	1,00	
10	5	14	202,42	26,7757	0,88	

Gambar 4.22 Hasil Optimasi Penyisihan Kromium oleh Eceng Gondok

Nilai optimum berdasarkan model kuadratik desain *box behnken* yang diperoleh konsentrasi 4,81 mg/L; lama waktu penyisihan 14 hari; dan berat tumbuhan 366,2 g dengan estimasi penyisihan kromium mencapai 33,58% dimana nilai desirabilitas mencapai 1 yang dapat dilihat pada **Gambar 4.23**.



Gambar 4. 23 Desirability Plot Optimasi Penyisihan Kromium oleh Eceng Gondok

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil Analisis dan pembahasan, maka dapat disimpulkan sementara bahwa:

1. Efisiensi penyisihan tertinggi logam berat kromium dengan 3 variasi konsentrasi adalah sebagai berikut:
 - a. Pada konsentrasi Cr sebesar 0,75 mg/L didapatkan efisiensi sebesar 12,65% dengan berat tumbuhan eceng gondok yaitu 400 g
 - b. Pada konsentrasi Cr sebesar 2,88 mg/L didapatkan efisiensi sebesar 27,67% dengan berat tumbuhan eceng gondok yaitu 400 g
 - c. Pada konsentrasi Cr sebesar 5 mg/L didapatkan efisiensi sebesar 30,14% dengan berat tumbuhan eceng gondok yaitu 400 g
2. Laju evapotranspirasi terbesar terjadi pada reaktor dengan variasi konsentrasi 0,75 mg/L dan berat tumbuhan 400 g
3. Nilai optimum berdasarkan model kuadratik desain *box behnken* yang diperoleh adalah konsentrasi 4,81 mg/L; lama waktu penyisihan 14 hari; dan berat tumbuhan 366,2 g dengan hasil efisiensi penyisihan sebesar 33,58%. Untuk R^2 0,9712 dan Adj- R^2 0,9341 serta nilai *desirability* 1,00.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, maka saran untuk penelitian kedepan adalah

1. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan tumbuhan lain seperti kayu apu atau kiambang untuk mereduksi Cr secara fitoremediasi
2. Penelitian lebih lanjut dapat menggunakan desain lain dalam *software design expert* 6.0.10 seperti *central composite design* atau *3 level factorial*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2004. SNI 06-698911-2004 Tentang Air dan Air Limbah – Bagian 11: Cara Uji Derajat Keasaman (pH) dengan Menggunakan Alat pH meter. Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. 2005. SNI 06-6989.23-2005 Tentang Air dan Air Limbah – Bagian 23: Cara Uji Suhu dengan Menggunakan Termometer. Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. 2009. SNI 6989.16:2009 Tentang Air dan Air Limbah – Bagian 16: Cara Uji Kromium (Cr) Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – Nyala. Badan Standarisasi Nasional.
- Bacordit, A., Armengol, J., Burgh, S. V. D., and Olle, L. 2014. “New challenges in chrome -free leathers: Development of wet-bright process”. **Journal of the American Leather Chemist Association**, 109(4), 99–109.
- Charlena. 2004. “Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) pada Sayur-sayuran”. **Pengarah Falsafah Sains, Sekolah Pascasarjana**. Institut Pertanian Bogor.
- Connel, D. W., dan Miller, G. J. 1995. **Kimia dan Etoksikologi Pencemaran**. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Deniz, B., and Mevlut, K. 2011. **Optimization of The Solid Phase Extraction Method of Determination of Cu (III) in Natural Waters by Using Response Surface Methodology**. The Royal Society of Chemistry: Turkey.
- Department of The Environment and Heritage of Australia. 2005. **State of The Air: Community Summary 1991-2001**.
- Dorris, K. L., Zhang, Y., and Shukla, A. 2000. “Removal of Heavy Metal from Aqueous Solutions by Sawdust”. **Journal of Hazardous Material** 80, 33–42.
- Effendi, H. 2003. “Telaah Kualitas Air”. Kanisius. Yogyakarta
- Ernawati. 2010. **Kerang Bulu (Anadara inflata) Sebagai Bioindikator Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) di Muara Sungai Asahan**. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Etorki, A. M. 2014. “Removal of some Heavy Metals from Wastewater by using of Fava Beans”. **American Journal of Analytical Chemistry** 5, 225-234.

- Foth, D. 1991. **Dasar-dasar Ilmu Tanah**. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Hardyanti, N., dan Suparni, S. S. 2007. "Fitoremediasi Phospat Dengan Pemanfaatan Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Studi Kasus Pada Limbah Cair Industri Kecil Laundry)". **Jurnal Presipitasi** 2 (1).
- Hartanti, P. I., Haji, A. T. S., Wirosuedarmo, R. 2014. "Pengaruh Kerapatan Tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Terhadap Penurunan Logam Kromium Pada Limbah Cair Penyamakan Kulit". **Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan**, 31-38
- Herrena, A., dan Titah, H.S. 2017. "Fito Pengolahan untuk Dekonsentrasi Warna Rhodamin B, Metilen Biru dan Metil Violet dengan Tumbuhan Air *Eichhornia crassipes*". **Jurnal Teknik ITS** 6 (2), 479-482.
- Hossen, M. Z., Chakrabarty, T., Afrin, R., and Mia, M. Y. 2017. "Phytoremediation of Chromium and Some Chemical Parameters from Tannery Effluent by Using Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*)". **International journal of Agriculture, Livestock, and Fisheries** 4 (3), 151-156.
- Imron, M. F. 2018. **Optimasi Proses Biodegradasi Solar oleh Isolat Bakteri dengan Menggunakan Response Surface methodology (RSM) Desain Box Behnken**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ingole, N. W., and Bhole, A. G. 2003. "Removal of Heavy Metals from Aqueous Solution by Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*)". **Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua** 52 (2), 119-128
- Irawan, I. 2003. **Analisis Keakuratan dan Kepekaan Tiga Metode Pendugaan Evapotranspirasi Potensial di Desa Ciputri Kecamatan Pacet Cianjur**. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Iriawan, N., dan Astuti, S. P. 2006. **Mengolah Data Statistik dengan Mudah Menggunakan Minitab 14**. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Islami, T. dan W.H. Utomo, 1995. **Hubungan Tanah, Air dan Tanaman**. Semarang: Semarang Press.
- Joglekar, A. M., and May, A.T. 1987. "Product excellence through design of experiments". **Cereal Food World** 32, 857- 868.

- Karenlampi, S. K., Schat, H., Vangronsveld, J., Verkleij, J. A. C., van der Lelie, D., Mergeay, M. Tervahauta A.I. 2000. "Genetic Engineering in the Improvement of Plants for Phytoremediation of Metal Polluted Soils". **Environ. Pollut.** 107, 225–231.
- Lasat, M. M. 2002. "Phytoextraction of Toxic Metals: A review of Biological Mechanisms". **J. Environ. Qual.** 31, 109- 120.
- Lubis, S. N. 2000. **Adopsi Teknologi dan Faktor-Faktor yang Mempengaruhi**. Medan: Universitas Sumatera Utara Press.
- Mangkoediharjo, S. 2002. **Efek Zat Organik Air Limbah Terhadap Pertumbuhan Eceng Gondok**. Malang: Universitas Brawijaya.
- Mayang, A. 2006. **Laju Evapotranspirasi pada Penurunan Konsentrasi Cu^{2+} di Dalam Reaktor Batch dengan Menggunakan Floating Aquatic Plant (Eceng Gondok, Duckweed, dan Kayu Apu)**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Mc Grath, S. P. 1995. **Chromium and Nickel**. In: Alloway BJ (eds) **Heavy Metals in Soil**. 139-155
- Milton, B., and Kurien, K. C. 1959. "Effects of Solute Concentration in Radiolysis of Water". **J. Phys. Chem.** 63 (6), 899–904.
- Montgomery, D. C. 2001. **Desain and Analysis of Experiments 8th ed**. New York: Jhon wiley&Sons, Inc.
- Mukti, A. M. 2008. **Penggunaan Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) Sebagai Pre-Treatment Pengolahan Air Minum Pada Air Selokan Mataram**. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Nugroho, A. 2006. **Bioindikator Kualitas Air**. Jakarta: Universitas Trisakti.
- Nursyakhia, H. 2014. **Studi Pemanfaatan Eceng Gondok Sebagai Bahan Pembuatan Pupuk Kompos Dengan Menggunakan Aktivator EM-4 dan Mol serta Prospek Pengembangannya**. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Olafadehan, O. A., and Aribike, D. S. 2000. "Treatment of Industrial wastewater effluent". **Journal of Nigerian Society of Chemical Engineers** 19, 50-53.
- Oramahi, H. A. 2017. **Optimasi Dengan RSM Dan Rancangan Percobaan Aplikasi dengan SPSS dan SAS**. Yogyakarta: Penerbit Gava Media.

- Palar, H. 2008. **Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat**. Jakarta: Rineka Cipta.
- Panda, S. K., and Choudhury, S. 2005. "Chromium Stress in Plants". **Brazilian Journal of Plant Physiology** 17, 97.
- Panjaitan, G. Y. 2009. **Akumulasi Logam Berat Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) pada Pohon Avicennia marina Di Hutan Mangrove**. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Patel, R. K., and Giri, A. K. 2011. "Toxicity and Bioaccumulation Potential of Cr (VI) and Hg (II) on Differential Concentration by Eichhornia crassipes in Hydroponic Culture". **International Journal of Water Science and Technology** 63, 899-907.
- Paul, H. L., Phillips, P. S., Covington, A. D., Evans, P., and Antunes, A. P. M. 2013. "Dechroming Optimization of Chrome Tanned Leather Waste as Potential Poultry Feed Additive: A waste to Resources. **Proceeding XXXII Congress of IULTCS**.
- Perdana, Nanda Reka Wahyu. 2007. **Adsropsi Cr (VI) dengan Menggunakan Abu Sekam Padi Rice Husk Ash Sebagai Adsorben**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Priyanto, B., dan Prayitno, J. 2004. "Fitoremediasi Sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khususnya Logam Berat". **Jurnal Informasi Fitoremediasi**.
- Pujawati, E. D. 2006. "Pertumbuhan Eceng Gondok (Eichhornia crassipes Mart. Slom) pada Air Bekas Penambangan BatuBara". **Jurnal Hutan Tropis Borneo**, (18): 94-103.
- Purnama, R. D. 2001. "Teknik Penyamakan Kulit Bulu Kelinci Rex Dengan Bahan Penyamak Khrom". **Prosiding Lokakarya Fungsional Non Peneliti**. Puslitbang Peternakan Bogor.
- Qiu, P., Mingcan, C., Kang, K., Park, B., Son, Y., Khim, E., Jang, M., and Khim, J. 2014. "Application of Box Behnken Design with Response Surface Methodology for Modeling and Optimizing Ultrasonic Oxidaton of Arsenite with H₂O₂". **Cent. Eur. J. Chem** 12 (2), 164-172.
- Rahman, N., Sameen, S., and Kashif, M. 2018." Application of Box- Behnken Design and Desirability Function in The Optimization of Spectrophotometric Method for The Quantification of WADA Banned Drug: Acetazolamide". **Journal of Molecular Liquids: India**.

- Raissa, D. G., dan Tangahu, B. V. 2017. "Fitoremediasi Air yang Tercemar Limbah Laundry dengan Menggunakan Kayu Apus (*Pistia stratiotes*)". **Jurnal Teknik Lingkungan ITS** 6(2), 233-237.
- Rita, D. R., Indah, H., Kurniasari, L. 2009. "Pemanfaatan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Untuk Menurunkan Kandungan COD, pH, Bau, dan Warna pada Limbah Cair Tahu". **Jurnal Pendidikan Kimia** 7(1), 41– 47
- Rodda, J. C., Downing, R. A. and Law, F. M. 1976. **Systematic Hydrology**. London: Newnes-Butterworths.
- Sarkar, S., Saha, P., and Shinde, O. 2016. "Phytoremediation of Industrial Mines Wastewater Using Water Hyacinth". **International Journal of Phytoremediation: India**
- Schnoor, J.L., and McCutcheon, S.C. 2003. **Phytoremediation Transformation And Control of Contaminants**. USA: Wiley Interscience Inc.
- Sinha, A., and Singh, G. 2011. "Phytoremediation of Chromium (VI)-laden waste by *Eichhornia crassipes*". **International Journal Environmental Technology and Management** 14, 1-4
- Singh, B., Harish K.S., dan Bhavesh, C.S. 2012. "Optimization of Extraction of Antioxidants from Wheat Bran (*Triticum spp.*) Using Response Surface Methodology". **Journal Food Science and Technology**, 49 (3), 294-308.
- Suardana, I.W. 2009. "Pemanfaatan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart)Solm) Sebagai Teknik Alternatif alam Pengolahan Biologis Air Limbah Asal Rumah Pemotongan Hewan (RPH) Pesanggrahan Denpasar Bali". **Jurnal Berita Biologi**, (9)6 : 759-766.
- Sudarmaji, J., Mukono, dan Corrie, I. P. 2006. "Toksikologi Logam Berat Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) dan Dampaknya". **Jurnal Kesehatan Lingkungan** 129-131
- Suelee, A. L. 2015. **Phytoremediation Potential of Vetiver Grass (*Vetiverie zozanioides*) for Water Contaminated with Selected Heavy Metal**. Malaysia: Universiti Putra Malaysia.
- Susilaningsih, D. 1992. **Pemanfaatan Tumbuhan *Hydrilla Verticillata* dan *Eichornia crassipes* sebagai Salah Satu Usaha Pengendalian Pencemaran Logam Kromium (Cr)**

- dari Limbah Pelapisan Logam.** Purwokerto: Universitas Jenderal Soedirman.
- Syahputra, R. 2006. "Fitoremediasi Logam Cu dan Zn dengan Tanaman Eceng Gondok (*E. crassipes Solms*)". **Jurnal Online Universitas Islam, Yogyakarta**.
- Tamrin, I. H. 2012. **Optimasi Variabel Respon Menggunakan Metode Permukaan Respon–Box Behnken Design (BBD)**. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Tangio, J. S. 2015. "Adsorpsi Logam Timbal (Pb) dengan menggunakan Biomassa Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)". **Jurnal Entropi** 8(1): 500 – 506
- Titi, J., Syarif, F., dan Hidayati, N. 2005. "Inventarisasi Tumbuhan Potensial Untuk Fitoremediasi Lahan dan Air Terdegradasi Penambangan Emas". **Biodiversitas** 6(1), ISSN 1412-0334
- Trihadiningrum, Y. 2016. **Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)**. Yogyakarta: Teknosain.
- Turkyilmaz, H., Kartal, T., and Yildiz, S. Y. 2014. "Optimization of Lead Adsorption of Mordenite by Response Surface Methodology: Characterization and Modification". **Journal of Environmental Health Science and Engineering**, 12 (5)
- Yola, D. P., Holis, A. H., Ida, M., dan Anisa, D. A. 2014. "Pemanfaatan Tumbuhan Eceng-Ecengan (*Pontederiaceae*) sebagai Agen Fitoremediasi dalam Pengolahan Limbah Krom". **Indonesian Journal of Pharmaceutical Science and Technology** 1(1)
- Yuliani., Muh. R. U., Elis. T., dan Ambeng. 2014. **Analisis Akumulasi Timbal (Pb) pada Eceng Gondok *Eichhornia crassipes* (mart.) Solms dan Perairan dari Beberapa Lokasi doi Kota Makassar**. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Zayed, A., Gowthaman, S., and Terry, N. 1998. "Phytoaccumulation of Trace Elements by Wetland Plants". **Journal of Environmental Quality** 27, 715-721.
- Zhu, Y. L., Zayed, A. M., De Souza, Q. M., and Terry, N. 1999. "Phytoaccumulation of Trace Elements by Wetland Plant: II Water Hyacinth". **Journal of Environmental Quality** 28, 339.

LAMPIRAN A
PERHITUNGAN VOLUME KROMIUM UNTUK TIAP
REAKTOR

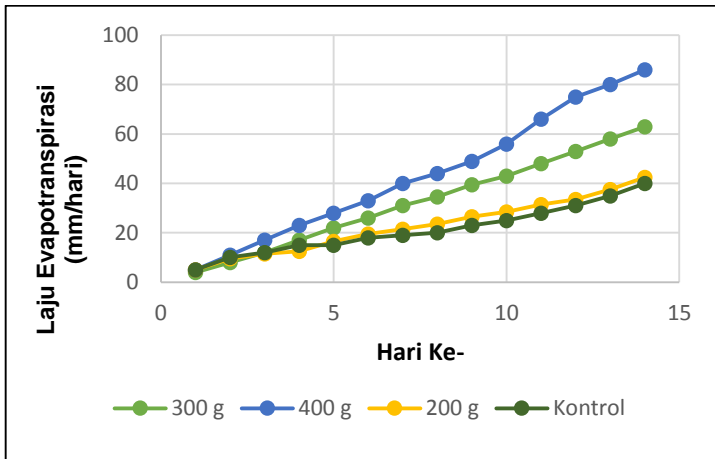
Tabel LA. Hasil Perhitungan Volume Cr yang Digunakan pada Tiap Reaktor

Berat tumbuhan (g)	Konsentrasi Cr yang diinginkan (mg/L)	Volume Cr yang dibutuhkan (mL)
200	0,75	337,5
	2,88	1260
	5	2250
300	0,75	337,5
	2,88	1260
	5	2250
400	0,75	337,5
	2,88	1260
	5	2250
Total		3847,5

LAMPIRAN B
HASIL PENGAMATAN EVAPOTRANSPIRASI

Tabel LB. 1 Hasil Pengukuran Evapotranspirasi

Konsentrasi	Berat Tumbuhan	Hari Ke-													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0,75 mg/L	200 g	3	3	5	7	11	13	16	16	19	23,5	28,5	34	38,5	44
	300 g	3	10	14	17	22	25	29	32	37	42	45	50	55	62
	400 g	10	13	18	25	34	39	42	46	52	57	61	66	72	77
2,88 mg/L	200 g	1	3	5	7	11	13	16	16	19	23,5	28,5	34	38,5	44
	300 g	5	10	14	17	22	25	29	32	37	42	45	50	55	62
	400 g	4	13	18	25	34	39	42	46	52	57	61	66	72	77
5 mg/L	200 g	5	9,5	11,5	12,5	16,5	19,5	21,5	23,5	26,5	28,5	31,5	34	37,5	43
	300 g	4	8	12	17	22	26	31	34,5	39,5	43	48	53	58	63
	400 g	5	11	17	23	28	33	40	44	49	56	66	75	80	86
Kontrol		5	10	12	15	15	18	19	20	23	25	28	31	35	40



Gambar LB. 1 Laju Evapotranspirasi Laju Evapotranspirasi pada Konsentrasi Cr sebesar 5 mg/L

LAMPIRAN C
DOKUMENTASI TAHAP PROPAGASI DAN AKLIMATISASI



Gambar LA.1 Tumbuhan eceng gondok pada tahap propagasi

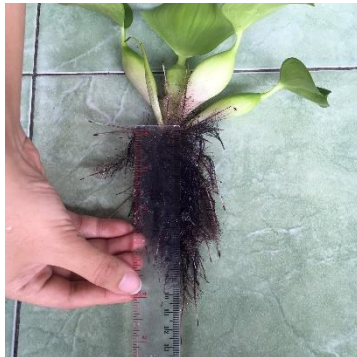


Gambar LA.2 Tumbuhan eceng gondok pada tahap aklimatisasi

LAMPIRAN C
PENGAMATAN FISIK TUMBUHAN



Gambar LC.1 Pengamatan fisik pengukuran lebar daun eceng gondok



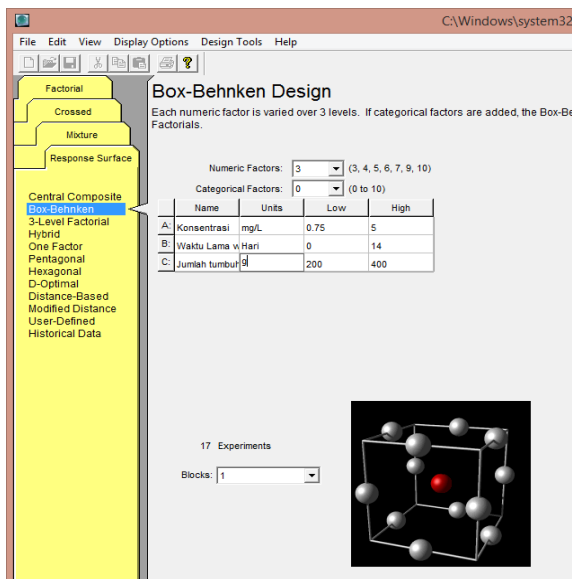
Gambar LC.2 Pengamatan fisik pengukuran panjang akar eceng gondok

LAMPIRAN D

Design Expert 6.0.10 RSM (*Response Surface Methodology*) Design Box Behnken

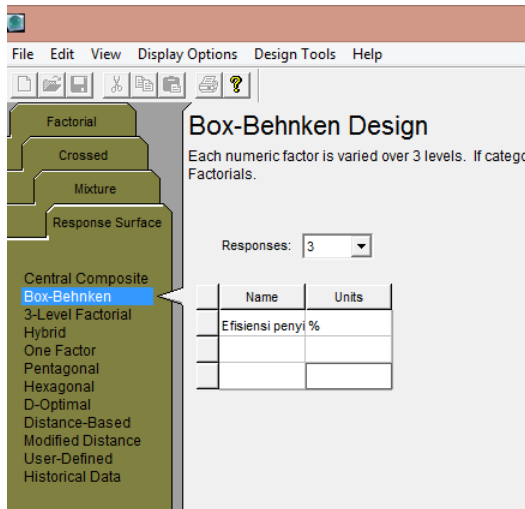
Langkah-langkah dalam menggunakan **design expert 6.0.10** sebagai berikut:

1. Mengisi kolom “*name*” dengan variabel yang diinginkan yaitu konsentrasi kromium, waktu penyisihan, dan berat tumbuhan
2. Mengisi kolom “*units*” dengan satuan dari setiap variabel yang dimasukkan
3. Mengisi kolom “*low*” dan “*high*” yaitu rentang terendah dan tertinggi dari setiap variabel



**Gambar 1.1 Memasukan Variabel Ke Dalam Program
*Design Expert***

4. Memilih jumlah “*response*” sesuai jumlah parameter yang diinginkan kemudian memasukkan data parameter pada kolom “*name*” dan data satuan parameter pada kolom “*units*”



Gambar 1.2 Memasukan Parameter Ke Dalam Program *Design Expert*

5. Mendapatkan banyaknya *running* yang harus dilakukan dengan variasi konsentrasi Cr, waktu penyisihan, dan berat tumbuhan yang telah ditentukan oleh *software design expert 6.0.10*

Notes for MyDesign		Std	Run	Block	Factor 1 A:Konsentrasi mg/L	Factor 2 B:Waktu penyisihan Hari	Factor 3 C:berat tumbukan gram	Response 1 Efisiensi penyisihan %
	7		1	Block 1	0.75	7.00	400.00	
		12	2	Block 1	2.88	14.00	400.00	
		17	3	Block 1	2.88	7.00	300.00	
		13	4	Block 1	2.88	7.00	300.00	
		1	5	Block 1	0.75	0.00	300.00	
		16	6	Block 1	2.88	7.00	300.00	
		8	7	Block 1	5.00	7.00	400.00	
		15	8	Block 1	2.88	7.00	300.00	
		2	9	Block 1	5.00	0.00	300.00	
		6	10	Block 1	5.00	7.00	200.00	
		14	11	Block 1	2.88	7.00	300.00	
		4	12	Block 1	5.00	14.00	300.00	
		9	13	Block 1	2.88	0.00	200.00	
		10	14	Block 1	2.88	14.00	200.00	
		3	15	Block 1	0.75	14.00	300.00	
		11	16	Block 1	2.88	0.00	400.00	
		5	17	Block 1	0.75	7.00	200.00	

Gambar 1.3 Hasil Optimasi pada Program *Design Expert*

BIOGRAFI PENULIS



Aida Sefanya Rahmadani merupakan putri pertama dari Bapak Aditya Dedi Devianto dan Ibu Ika Erawati yang lahir pada 3 Februari 1997 di Kota Surabaya, Jawa Timur. Penulis menempuh pendidikan dasar di SD Islam Al-Azhar Kelapa Gading Surabaya, SMP Negeri 19 Surabaya, dan SMA Negeri 15 Surabaya. Pada tahun 2015 penulis diterima sebagai mahasiswi S1 Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya dan terdaftar dengan NRP 0321154000064.

Selama perkuliahan, penulis aktif sebagai panitia di berbagai kegiatan Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) ITS dan sempat menjabat sebagai Kepala Bidang *Branding* Divisi Hubungan Luar. Di tahun keduanya berkuliah, penulis sudah berpartisipasi aktif dengan menjadi Staff Divisi Hubungan Luar (HUBLU) HMTL 16/17. Pada tahun ketiga, penulis juga pernah menjadi Ketua Panitia *Big Event* Environation 2018 yang bertujuan untuk memperkenalkan ilmu dan keprofesian Departemen Teknik Lingkungan kepada siswa – siswi SMA/K sederajat dan masyarakat umum sehingga Departemen Teknik Lingkungan mendapatkan citra positif dari pihak eksternal ITS. Penulis dapat dihubungi via e-mail sefanya.aida@enviro.its.ac.id



KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Aida Sefanya R.
NRP : 03211540000064
Judul : Optimasi Penyisihan Kromium oleh Eeng Ganda dengan Response Surface Methodology Design Box Behnken

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1.	26 Jan 2019	- Revisi proposal TA - Tahap propagasi (persiapan) - analisa evapotranspirasi	
2.	25 Feb 2019	- Persiapan tumbuhan - Persiapan reaktor - variasi berat tumbuhan (perubahan satuan)	
3.	28 Maret 2019	- Pemupukan larutan artifisial - persiapan doluminasi - pemberian insektisida	
4.	18 April 2019	- diskusi mengenai hasil analisis Cr (VI) - outline laporan	
5.	30 April 2019	- Progress untuk seminar (majalah word) / hardcopy	
6.	17 Mei 2019	- Revisi laporan progress - Memasukkan hasil Cr ke lab LPPM.	
7.	19 Juni 2019	- Diskusi hasil lab dari LPPM - running RSM v/ cari optimasi	
8.	27 Juni 2019	- Diskusi laporan Tugas Akhir	

Surabaya, 30 April 2019
Dosen Pembimbing

(Harmin Sulistyaning Tiara, ST, M.T, Ph.D)



KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
 Periode: Genap 2018/2019

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)
 No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-02
 Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
 Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : 8 Agustus 2019
 Pukul : 10.00 WIB
 Lokasi : TL-102
 Judul : Optimasi Penyisihan Kromium dan Feeng Gordok dengan Response Surface Methodology Design Box Behnken
 Nama : Aida Sefanya Rahmadani
 NRP. : 03211540000064
 Topik : penelitian

Nilai TOEFL : 477

Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Seminar Kemajuan Tugas Akhir
①	<p><u>Bu Bieby Vorjant</u></p> <p>alasan menggunakan [Cr] tbb. → berdasarkan pafelen ilmiah. Knp 200 gr yg lebih bagus? daripada 300 gr. hitung per gram? Knp biomassa sedikit → y remove Cr ↑</p>
②	<p><u>Prof. Yulinal</u></p> <p>Laju evaporasi → apa tujuannya? Suhu udara ambient. Seberapa kecil → suhu mg/L. gram → g Massa → 200 gr / 15 L Angkanya di grafiknya.</p>
③	<p><u>Prof. Sarnoko</u></p> <p>evaporasi & removal efisiensi $C_{pencem} J =$</p>

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana
 Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
 Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir
2. Tidak dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Harmin Sulistyaning Titah, ST, MT, Ph.D



UTA-S1-TL-02 TUGAS AKHIR
 Periode: Genap 2018-2019

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)
 No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02
 Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
 Ujian Tugas Akhir

Nilai TOEFL 477

Hari, tanggal : Senin, 15 Juli 2019
 Pukul : 13.00 - 15.00
 Lokasi : TL-102
 Judul : Optimasi Penyisihan Kromium oleh Eceng Gondok dengan Response Surface Methodology Design Box Behnken
 Nama : Aida Sefanya Rahmadani
 NRP. : 03211540000064
 Topik : Penelitian, Fitoremediasi

Tanda Tangan

[Handwritten Signature]

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir
①	<p><u>Bu Ellina</u></p> <p>⊙ Abstrak. ⊙ Sahan lagi evaporasinya → (sahan) → cm^3/hari ⊙ Samaki ↑ [Cr] maka ↑ Removely → cm^3/hari? ⊙ Limbah asli → Cr. ⊙ Penjelara dan unta JK Sub. ⊙ Hal 10 → diganti lagi evaporasi di air ⊙ Tabel 4.1 → perbaiki → 1 respon. Suhu dan pH → kondisi operasi reaktor.</p>
②	<p><u>Prof. Yulinal</u></p> <p>AQC → Lempirkan. Kuna kelangka logam berat (Knp). Tambahan shor purla → Purpa → knp air PDAM. → ada numentya?</p> <p style="text-align: right;">24/7/2019 <i>[Handwritten Signature]</i></p>

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana
 Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
 Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

- ① Lulus Ujian Tugas Akhir
2. harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing

Harmin Sulistyning Titah, S.T., M.T., Ph.D

(*[Handwritten Signature]*)

Pak Arsom

- ⊙ Cara penyajian sampel. → SNI
- ⊙ Syarat pertumbuhan energi janda → Urahan → Bab 2.
- ⊙ Kelebihan penguas di fisis 0,7 - 0,9 evaporasi.

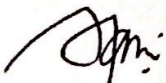


FORMULIR PERBAIKAN LAPORAN TUGAS AKHIR


Nama : Aida Sefanya Rahmadani
NRP : 03211540000064
Judul Tugas Akhir : Penyisihan Fraktum oleh Eceng Gondok dengan Response Surface Methodology Design Box Behnken

No	Saran Perbaikan (sesuai Form UTA-02)	Tanggapan / Perbaikan (bila perlu, sebutkan halaman)
1.	Lengkapi daftar pustaka	- sudah dilengkapi
2.	Perbaiki salah ketik	- sudah diperbaiki
3.	Kenapa hasil penyisihan rendah? bagaimana penelitian terdahulu	- sudah dibandingkan dg. literatur
4.	Mekanisme penyerapan Cr oleh eceng gondok	- sudah ditambahkan di pembahasan dan tinjauan pustaka.
5.	Hitung persamaan (γ) sbg validasi	- sudah dihitung

Dosen Pembimbing,


Harmin Sulistyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D

Mahasiswa Ybs.,


Aida Sefanya R.