



**DESAIN *ROTARY KILN* PADA PRA-RANCANGAN
PABRIK KARBON AKTIF DARI SEKAM PADI
KAPASITAS 17.000 TON/TAHUN**

Skripsi

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana
Teknik Program Studi Teknik Kimia**

Oleh :

Iffat Ganjar Fadhila Prakasita

NIM.5213415038

**TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Iffat Ganjar Fadhila Prakasita

NIM : 5213415038

Program Studi : Teknik Kimia

Skripsi dengan Judul "*Desain Rotary Kiln pada Pra-Rancangan Pabrik Karbon Aktif dari Sekam Padi dengan Aktivator NaOH Kapasitas 17.000 Ton/Tahun*" telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 15 Juli 2019

Pembimbing



Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T.

NIP. 197405191999032001

PENGESAHAN

Skripsi dengan Judul “Desain *Rotary Kiln* pada Pra-Rancangan Pabrik Karbon Aktif dari Sekam Padi dengan Aktivator NaOH Kapasitas 17.000 Ton/Tahun” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada 29 Juli 2019.

Oleh

Nama : Iffat Ganjar Fadhila Prakasita
NIM : 5213415038
Jurusan : Teknik Kimia

Panitia

Ketua



Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T.
NIP. 197405191999032001

Sekretaris



Dr. Megawati, S.T., M.T.
NIP. 197211062006042001

Penguji 2



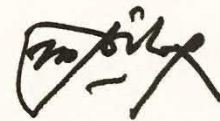
Rr. Dewi Artanti P, S.T., M. T.
NIP. 198711192014042002

Penguji 1



Dr. Astrilia Damayanti, S.T., M.T.
NIP. 197309082006042001

Pembimbing



Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T.
NIP. 197405191999032001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Nur Qudus, M.T., IPM.
NIP. 196911301994031001

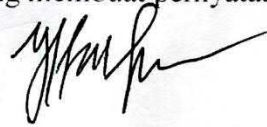
PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini

Semarang, 18 Juli 2019

Yang membuat pernyataan,



Iffat Ganjar Fadhila Prakasita

NIM. 5213415038

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO:

“Dan janganlah kamu berputus asa dari rahmat Allah” (Q.S. Yusuf : 87)

PERSEMBAHAN

1. Allah SWT.
2. Bapak dan Ibu Tercinta.
3. Adiku, Brillianti Ardelia Sahda
4. Seluruh Dosen Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang
5. Teman-teman seperjuangan Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang Angkatan 2015
6. Seluruh Almamaterku

ABSTRAK

DESAIN *ROTARY KILN* PADA PRA-RANCANGAN PABRIK KARBON AKTIF DARI SEKAM PADI KAPASITAS 17.000 TON/TAHUN

Iffat Ganjar Fadhila Prakasita
Universitas Negeri Semarang, Semarang, Indonesia
Dosen Pembimbing : Dr. Wara Dyah Pita Renga, S.T., M.T.

Peningkatan kebutuhan karbon aktif di Indonesia menandakan perlunya pendirian pabrik karbon aktif dengan kapasitas 17.000 ton/tahun untuk memenuhi kebutuhan karbon aktif dan mengurangi ketergantungan impor. Karbon aktif dapat disintesis dari biomassa sekam padi. Pada pembuatan karbon aktif diperlukan tahap aktivasi karbon untuk menghilangkan pengotor yang tersisa setelah proses karbonisasi. Alat yang digunakan pada proses aktivasi karbon yaitu *rotary kiln*.

Prinsip aktivasi menggunakan *rotary kiln* yaitu mengumpulkan karbon yang akan di aktivasi dan larutan NaOH sebagai aktivator ke dalam *rotary kiln*. Proses aktivasi akan berjalan pada suhu 700⁰C dengan pemanas yang disuplai dari batubara yang dibakar pada ruang bakar *kiln*. Karbon dan larutan NaOH dicampur dan diaduk di dalam *rotary kiln* melalui pergerakan rotasi dari *rotary kiln*. Dengan sudut kemiringan yang dimiliki *rotary kiln* maka bahan akan bergerak dari ujung inlet yang posisinya lebih tinggi ke ujung outlet yang posisinya lebih rendah melalui perpindahan secara aksial.

Rotary kiln yang digunakan merupakan tipe *indirect fired rotary kiln*, dengan diameter sebesar 2,438 m, panjang 42,672 m, tebal *shell* 0,0127 m, kecepatan putar 3 rpm dan kapasitas 22.500 kg/jam. Bahan bakar yang digunakan adalah batubara dengan total kebutuhan sebesar 595,934 kg/jam.

Kata kunci : karbon aktif, aktivasi, *rotary kiln*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur bagi Allah SWT atas rahmat dan kasih sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul **“Desain Rotary Kiln pada Pra-rancangan Pabrik Karbon Aktif dari Sekam Padi Kapasitas 17.000 Ton/Tahun”**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW, semoga kita semua mendapatkan safa’at Nya di hari akhir nanti, Aamiin.

Penyusunan Skripsi ini tidak lepas dari dukungan orang-orang disekitar kami, sehingga kami ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Nur Qudus, MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
2. Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang sekaligus sebagai Dosen Pembimbing Skripsi yang penuh perhatian serta berkenan memberi bimbingan dan kemudahan dalam penyusunan Skripsi ini
3. Orangtua dan saudara/saudari, beserta keluarga lainnya yang selalu setia memberi dukungan baik moril dan materil, serta doa yang tulus.
4. Segenap kawan seperjuangan Jurusan Teknik Kimia UNNES angkatan 2015 yang selalu memberi semangat dan motivasi.
5. Semua pihak yang membantu dalam penyusunan Skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga penulis mengharapkan saran untuk menyempurnakannya. Penulis berharap Skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca yang membutuhkan informasi mengenai masalah yang dibahas dalam Skripsi ini, khususnya terkait bidang Teknik Kimia.

Semarang, 18 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Rumusan Masalah	5
1.5 Tujuan Penelitian	5
1.6 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 <i>Rotary Kiln</i>	6
2.2 Jenis – Jenis <i>Rotary Kiln</i>	7
2.3 Bagian – Bagian <i>Rotary Kiln</i>	9
2.4 Perpindahan Panas pada <i>Rotary Kiln</i>	10
2.5 Prinsip Aktivasi Karbon	12
2.6 Spesifikasi Bahan Masuk <i>Kiln</i>	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	15
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	15
3.2 Prosedur Penelitian	15

3.3 Diagram Alir Penelitian	17
BAB IV PEMBAHASAN	18
4.1 Mekanisme Aktivasi Karbon di dalam <i>Rotary Kiln</i>	19
4.2 Perhitungan Neraca Massa pada <i>Rotary Kiln (DD-01)</i>	22
4.3 Perhitungan Neraca Panas pada <i>Rotary Kiln (DD-01)</i>	28
4.4 Perancangan Dimensi <i>Rotary Kiln (DD-01)</i>	34
4.5 Desain Isolator	41
4.6 Perhitungan Kebutuhan Daya <i>Rotary Kiln (DD-01)</i>	49
4.7 Perhitungan Kebutuhan Bahan Bakar <i>Rotary Kiln (DD-01)</i>	52
BAB V PENUTUP	54
5.1 Kesimpulan	54
5.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Bagian – Bagian <i>Rotary Kiln</i>	9
Gambar 2.2. Mekanisme Perpindahan Panas <i>Rotary Kiln</i>	12
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	17
Gambar 4.1. Skema <i>Rotary Kiln</i>	18
Gambar 4.2. Skema Aktivasi Karbon dengan <i>Rotary Kiln</i>	22
Gambar 4.3. Neraca Massa <i>Rotary Kiln</i>	22
Gambar 4.4 Diagram Aliran Panas <i>Rotary Kiln</i>	28
Gambar 4.5 Skema <i>Rotary Kiln</i>	34
Gambar 4.6. Skema Perpindahan Panas <i>Rotary Kiln</i>	41

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Massa Molekul Relatif Komponen	23
Tabel 4.2 Neraca Massa <i>Rotary Kiln</i>	27
Tabel 4.3 Data Kapasitas Panas Fase Gas	29
Tabel 4.4 Entalpi pembentukan reaksi 1 di <i>rotary kiln</i>	30
Tabel 4.5 Entalpi pembentukan reaksi 2 di <i>rotary kiln</i>	31
Tabel 4.6 Entalpi pembentukan reaksi 3 di <i>rotary kiln</i>	31
Tabel 4.7 Neraca Panas Alat <i>Rotary Kiln</i>	33
Tabel 4.8 Laju Alir Masa Komponen Masuk <i>Rotary Kiln</i>	35
Tabel 4.9 Perhitungan Densitas Bahan Masuk <i>Rotary Kiln</i>	37
Tabel 4.10 Spesifikasi <i>Rotary Kiln</i> (DD-01)	53

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan karbon aktif Indonesia meningkat seiring dengan meningkatnya pertumbuhan industri. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik pada tahun 2017 impor karbon aktif Indonesia mencapai angka 13.100 ton. Dari perhitungan regresi linear data impor karbon aktif Indonesia, dapat diperkirakan kebutuhan karbon aktif di masa depan akan semakin meningkat dengan estimasi impor karbon aktif sebanyak 17.000 ton pada tahun 2023. Oleh karena itu, perlu didirikan pabrik karbon aktif dengan kapasitas 17.000 ton/tahun untuk memenuhi kebutuhan karbon aktif dalam negeri serta mengurangi ketergantungan Indonesia terhadap impor karbon aktif.

Karbon aktif digunakan secara luas oleh banyak industri di Indonesia karena sifatnya yang ramah lingkungan dan harganya murah (Wardani *et al*, 2017). Karbon aktif dalam beberapa industri digunakan untuk beberapa keperluan diantaranya yaitu pemisahan atau pemurnian cairan dan gas, penghilangan bahan – bahan yang bersifat toksik dalam limbah, dan digunakan sebagai katalis (Nideesh *et al*, 2018). Efektivitas karbon aktif yang baik menjadikan karbon aktif banyak digunakan sebagai adsorben terutama dalam pengolahan limbah industri karena memiliki volume pori dan luas permukaan spesifik yang besar (Setyoningrum *et al*, 2018).

Luas permukaan spesifik dan volume pori merupakan karakteristik penting dari karbon aktif (Mazlan *et al*, 2016). Hal ini karena luas permukaan

spesifik dan volume pori berpengaruh terhadap daya jerap dan kapasitas adsorpsi karbon aktif (Jena dan Kumar, 2016). Karakteristik karbon aktif yang baik bergantung pada keberhasilan proses sintesis karbon aktif.

Sintesis karbon aktif terdiri dari dua tahap utama yaitu karbonisasi dan aktivasi (Das *et al.*, 2015). Karbonisasi bertujuan untuk merubah bahan baku seperti biomassa atau bahan yang mengandung lignoselulosa menjadi karbon dengan pemanasan tanpa kehadiran oksigen (Ronsse *et al.*, 2015). Sedangkan aktivasi bertujuan untuk meningkatkan struktur pori, memperluas permukaan karbon aktif (Manocha *et al.*, 2015), dan meningkatkan kapasitas adsorpsi karbon aktif (Ngapa, 2017). Besarnya luas permukaan dan volume pori karbon aktif dipengaruhi oleh proses aktivasi yang dilakukan.

Proses aktivasi karbon terbagi menjadi dua macam yaitu aktivasi fisika dan aktivasi kimia (Cencerrado *et al.*, 2018). Karbon aktif yang diperoleh dari aktivasi kimia memiliki luas permukaan yang lebih besar yaitu berkisar 1500-2000 m²/g dan porositas yang lebih baik yang berkisar antara 0,8-1,5 cm³/g (Saad *et al.*, 2019). Proses aktivasi karbon aktif sangat berpengaruh terhadap kualitas dan karakteristik karbon aktif yang dihasilkan. Aktivasi karbon harus dilakukan pada suhu yang tepat karena selain berpengaruh pada luas permukaan, suhu aktivasi juga berdampak pada distribusi ukuran pori yang dihasilkan (Yorgun dan Yildiz, 2015). Sebagian besar proses aktivasi karbon dijalankan pada suhu 700⁰C, hal ini karena aktivasi pada suhu 700⁰C menghasilkan *yiled* karbon paling tinggi yaitu sebesar 23,3%, sehingga karbon yang teraktivasi lebih banyak dan mengurangi kebutuhan bahan baku (Menya *et al.* 2018).

Pada skala industri, proses aktivasi karbon dapat dilakukan menggunakan beberapa alat yaitu *multipleherath furnace*, *fluidized bed reactor*, dan *rotary kiln* (Koehlert, 2017). *Multipleherath furnace* memiliki kelemahan yaitu transfer massa yang tidak efisien dan membutuhkan waktu *start-up* yang lama, sedangkan *fluidized bed reactor* memiliki kelemahan yaitu waktu tinggal pada reaktor yang berbeda – beda (Liu dan Wagner, 1985) sehingga dapat merugikan proses aktivasi dan proses produksi karbon aktif.

Dewasa ini, proses aktivasi mulai dikembangkan menggunakan *rotary kiln*. *Rotary kiln* banyak digunakan oleh hampir semua produsen karbon aktif dunia (Ortiz *et al*, 2003). Aktivasi karbon menggunakan *rotary kiln* memberikan keuntungan yaitu efisiensi transfer massa yang lebih baik dari *multiplehearth furnace* (Liu dan Wagner, 1985). *Rotary kiln* cocok digunakan sebagai alat untuk keperluan *thermal treatment* pada partikel padat. Proses aktivasi karbon menggunakan *rotary kiln* memberikan hasil permukaan karbon yang halus karena pencampuran aktivator dengan karbon dilakukan secara perlahan (Sangines dan Miguel, 2015). Aktivasi menggunakan *rotary kiln* juga menghasilkan sedikit kontak antara karbon dengan gas yang terbentuk sehingga mengurangi terjadinya reaksi oksidasi (Babler *et al*, 2017).

Studi tentang perancangan *rotary kiln* sebagai alat pada proses aktivasi karbon yang disintesis dari biomassa belum banyak dilakukan. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dipelajari lebih lanjut desain *rotary kiln* yang akan digunakan pada prarancangan pabrik karbon aktif dari sekam padi kapasitas

17.000 ton/tahun. Tipe *rotary kiln* yang digunakan adalah *indirect fired rotary kiln*.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut:

- a. Karbon aktif merupakan produk yang banyak digunakan sebagai adsorben, katalis, dan agen pemurnian dalam industri, namun pemenuhan kebutuhan karbon aktif masih dilakukan dengan cara impor.
- b. Karbon aktif dapat disintesi dari karbonisasi biomassa dan perlu dilakukan aktivasi untuk meningkatkan luas permukaan dan volume pori yang dimiliki.
- c. *Rotary kiln* digunakan sebagai alat pada proses aktivasi karbon aktif

1.3 Batasan Masalah

Pembatasan masalah perlu dilakukan pada penelitian ini agar pokok permasalahan tidak melebar dan inti pembahasan dapat dikaji secara mendalam.

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. *Rotary kiln* merupakan alat yang akan di desain untuk proses aktivasi karbon
- b. *Rotary kiln* digunakan sebagai alat aktivasi pada prarancangan pabrik karbon aktif dari sekam padi kapasitas 17.000 ton/tahun
- c. Tipe *rotary kiln* yang digunakan adalah *indirect fired rotary kiln*.

1.4 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan ukuran *rotary kiln* yang dibutuhkan pada aktivasi karbon dari sekam padi kapasitas 17.000 ton/tahun?
2. Bagaimana langkah – langkah desain *rotary kiln* untuk proses aktivasi karbon dari sekam padi?
3. Bagaimana desain isolator pada *rotary kiln*?

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan ukuran dan spesifikasi *rotary kiln* yang dibutuhkan pada aktivasi karbon dari sekam padi kapasitas 17.000 ton/tahun
2. Menentukan tebal isolator yang dibutuhkan *rotary kiln* untuk proses aktivasi karbon dari sekam padi
3. Menghitung kebutuhan bahan bakar batubara pada *rotary kiln*

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi:

1. Masyarakat

Memberikan pengetahuan dan wawasan baru mengenai desain *rotary kiln* dalam proses aktivasi pada prarancangan pabrik karbon aktif dari sekam padi dengan aktivator NaOH kapasitas 17.000 ton/tahun

2. IPTEK

Memberikan informasi bahwa proses aktivasi karbon yang disintesis dari biomassa sekam padi memberikan efektivitas dan efisiensi yang baik

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Rotary Kiln

Rotary kiln merupakan silinder yang berputar di sekitar sumbu longitudinal. Secara umum, *rotary kiln* bekerja secara kontinyu. Bahan diumpankan dari ujung inlet dan keluar melalui ujung outlet yang lain. Pada *rotary kiln*, pemanas dialirkan secara *countercurrent*. Beberapa *rotary kiln* memiliki kemiringan tertentu dan beberapa yang lain diposisikan secara horizontal ($s = 0$). Kemiringan *rotary kiln* memudahkan gerakan bahan secara aksial. Sementara dalam radial, pergerakan bahan bergantung pada kecepatan putar (N), rasio bahan padat : cair, dan persentase volume reaktor yang ditempati oleh bahan (%FR) (Alonso *et al*, 2017).

Rotary kiln disusun berbaring secara horizontal dan berputar pada putaran rendah di sekitar sumbu longitudinal. Kemiringan silinder bertujuan untuk membuat perpindahan bahan padat secara aksial dari ujung inlet menuju outlet kiln pada ujung yang berbeda. Selama pengangkutan aksial, ketinggian bed solid berubah sepanjang panjang tungku. Dengan demikian, permukaan perpindahan panas lokal berubah dalam arah aksial (Herz *et al*, 2016). Silinder berputar bekerja secara simultan sebagai alat pengangkut dan pengaduk yang membantu untuk mencampur dan memutar material ke arah radial (Vijayan dan Sendhilkumar, 2014).

Pada dasarnya *rotary kiln* beroperasi dalam banyak aplikasi seperti pengeringan, pembakaran, pencampuran, pemanasan, pendinginan, pelembapan, kalsinasi, pereduksi, sintering dan reaksi gas-padat (Jauhari dan Masliya, 1998). *Rotary kiln* banyak digunakan secara luas pada pemrosesan bahan padat suhu tinggi karena fleksibilitasnya yang tinggi. *Rotary kiln* memiliki beberapa keunggulan diantaranya yaitu dapat memproses bahan baku dengan berbagai bentuk, ukuran, dan nilai panas secara batch atau kontinyu (Deconto *et al.*, 2016). *Rotary kiln* juga dapat menghandle berbagai jenis umpan yang bervariasi dengan nilai kalor variabel yang beragam, serta pengeluaran bahan padat pada outlet yang tidak menimbulkan masalah (Heydenrych, 2001).

2.2 Jenis - Jenis *Rotary Kiln*

Terdapat dua jenis *rotary kiln* yaitu *direct fired rotary kiln* dan *indirect fired rotary kiln* (Boetang, 2016).

a. *Direct Fired Rotary Kiln*

Direct Fired Rotary Kiln merupakan bejana silinder shell tunggal dengan penambahan cincin di dalam silinder untuk memperlambat laju bahan padat ketika diumpankan dari inlet (bagian yang ditinggikan) menuju outlet (bagian bawah). Media pemanas mengalir berlawanan arah (*counter-current*) dengan pergerakan bahan. Kiln dipanaskan oleh pembakar gas langsung terhadap kulit luar shell kiln. Suhu di dalam tungku dikontrol dengan menyesuaikan panas dari pembakar (Boateng 2016).

Sistem pemanas *direct fired* berbeda dari sistem pemanas uap karena udara yang dipanaskan untuk kiln berasal langsung dari pembakaran bahan

bakar. Udara panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dilewatkan langsung di dalam silinder untuk menyuplai kebutuhan panas *rotary kiln* (Boone, 2014).

b. *Indirect Fired Rotary Kiln*

Indirect fired rotary kiln terdiri dari bejana silinder *shell* ganda. *Shell* bagian dalam mirip dengan *direct fired rotary kiln*. Ruangan antar *shell* dipanaskan baik oleh gas pembakaran atau uap. *Shell* silinder bagian dalam dibulatkan sehingga memungkinkan gas atau uap panas masuk dan dapat memanaskan bahan. Suhu bahan dikontrol dengan memonitor suhu gas inlet dan outlet (Awakasi, 2008).

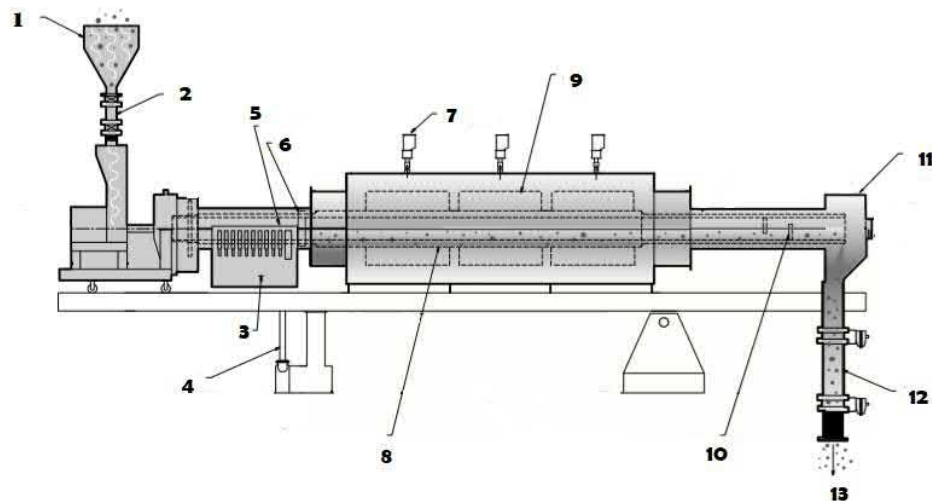
Pemanasan *kiln* tipe *indirect fired rotary kiln* dilakukan secara eksternal. *Kiln* ini dirancang untuk aplikasi proses di mana kontak langsung antara bahan dan gas penyuplai panas tidak diinginkan. Dalam hal ini, sumber panas berasal dari luar ruang bakar. *Indirect fired rotary kiln* memiliki ukuran yang kecil, biasanya berdiameter hingga 1,3 m (50in.) dan banyak digunakan untuk aplikasi khusus seperti kalsinasi pada bahan khusus. *Indirect fired rotary kiln* memberikan kemampuan pemanasan mencapai suhu tinggi. Dalam beberapa kasus, pemanasan *kiln* tipe *indirect fired* dapat mencapai suhu 2400⁰C. *Kiln* ini juga dapat digunakan pada proses dengan waktu tinggal yang ditentukan (Awakasi, 2008).

Aplikasi umum dari *indirect fired rotary kiln* diantaranya yaitu kalsinasi, reduksi, oksidasi terkontrol, karbonisasi, reaksi solid-state dan pemurnian, termasuk remediasi limbah dalam skala kecil, yang membutuhkan suhu yang

sangat tinggi dan kontrol yang ketat. Bahan yang umum diproses dalam *indirect fired rotary kiln* meliputi fosfor, titanat, seng oksida, dan ferrites kuarsa. *Indirect fired rotary kiln* diproduksi menggunakan bahan komersial yang ekonomis (Awakasi, 2008).

2.3 Bagian – Bagian *Rotary Kiln*

Bagian – bagian *rotary kiln* ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Bagian – Bagian *Rotary Kiln* (Awakasi 2008)

Keterangan :

- | | |
|------------------------------|--|
| 1. <i>Inlet hopper</i> | 8. <i>Process tube</i> |
| 2. <i>Air lock</i> | 9. <i>Indirect multiple heating zone</i> |
| 3. <i>Purge panel</i> | 10. <i>Radiation baffle</i> |
| 4. <i>Incline jack</i> | 11. <i>Gas inlet</i> |
| 5. <i>Radiation baffle</i> | 12. <i>Discharge air lock</i> |
| 6. <i>Entrance support</i> | 13. <i>Product outlet</i> |
| 7. <i>Temperature sensor</i> | |

2.4 Perpindahan Panas pada *Rotary Kiln*

Rotary kiln yang digunakan dalam industri dapat diklasifikasikan ke dalam dua mode pemanasan utama: pemanasan secara langsung (*direct fired*) atau tidak langsung (*indirect fired*), tergantung pada posisi sumber pemanas sehubungan dengan dinding kiln. Pada *rotary kiln* dengan pemanasan tidak langsung, biasanya minyak, gas atau batubara dibakar dalam tungku pembakaran dan digunakan untuk menghasilkan gas panas. Gas panas mengalir di dalam *kiln* baik secara co-current atau counter-current terhadap aliran padat (Stephane, 2015).

Pada *rotary kiln* tidak langsung, sumber panas yang dapat berupa listrik atau gas panas di suplai secara eksternal dari luar *kiln*, sedangkan padatan dioperasikan di pada bagian dalam *kiln*. *Kiln* yang dipanaskan secara tidak langsung digunakan ketika ada kebutuhan untuk kontrol yang ketat dan pemanasan yang bersih (Stephane, 2015).

Perpindahan panas dalam *rotary kiln* melibatkan pertukaran energi melalui semua mekanisme transfer fisik dasar, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Mode perpindahan panas dapat diklasifikasikan ke dalam tiga kategori, sesuai dengan tiga zona yaitu di luar, di dalam, dan di seberang dinding kiln. Setiap mode dapat mencakup satu atau lebih mekanisme perpindahan panas. Persamaan dasar untuk fluks perpindahan panas dari masing-masing mekanisme transfer adalah:

Konduksi: $\Phi = -kA \frac{dT}{dr}$, dengan k = konduktivitas termal, A = bidang kontak, T = suhu.

Konveksi: $\Phi = h A \Delta T$, dengan h = koefisien perpindahan panas.

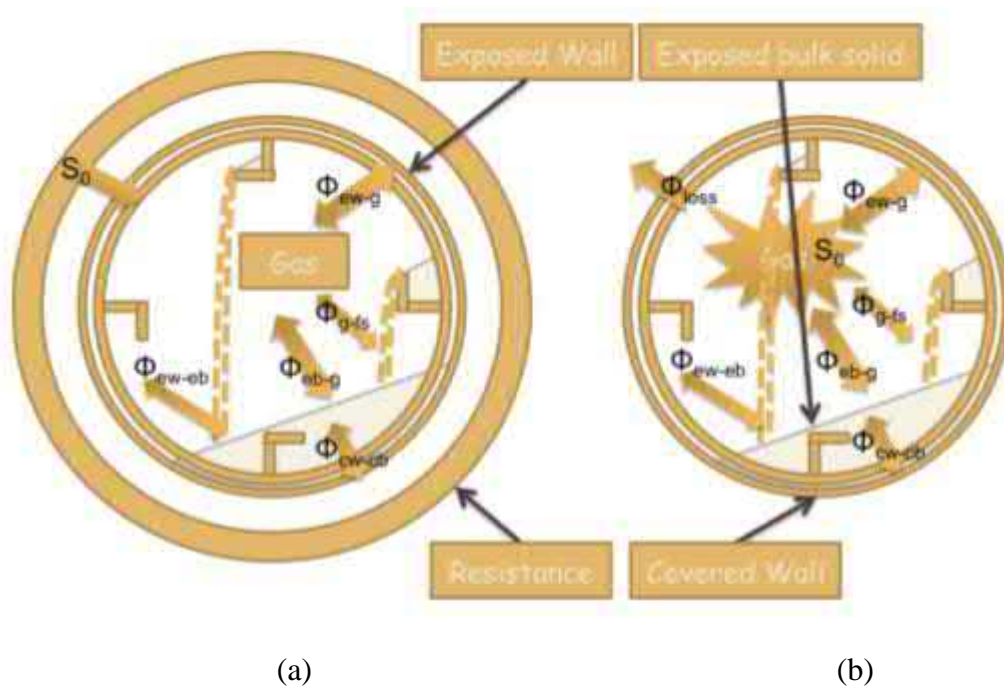
Radiasi: $\Phi = \sigma AT^4$, dengan σ = konstanta Stephan-Boltzmann.

Mekanisme dominan dalam memasok panas pada umpan padat tergantung pada:

- kondisi operasi *kiln* terutama suhu operasi
- desain *kiln*
- sifat termal dan fisik partikel padat, gas, dan dinding *kiln*

Pada *rotary kiln* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2, dapat terjadi beberapa fluks panas yang dilengkapi dengan lifters sebagai berikut :

1. Φ_{ew-cb} , fluks pemindahan panas antara dinding yang tertutup dan dinding bed yang lebih rendah, termasuk konduksi dan radiasi
2. Φ_{eb-g} , fluks perpindahan panas antara lapisan atas yang terbuka dan *freeboard gas*, termasuk konveksi dan radiasi
3. Φ_{ew-g} , fluks perpindahan panas antara dinding yang terbuka dan dan *freeboard gas*, termasuk konveksi dan radiasi
4. Φ_{ew-eb} , fluks pemindahan panas antara lapisan atas yang terbuka dan dinding yang terbuka, hanya dalam hal radiasi
5. Φ_{g-fs} , fluks perpindahan panas antara *freeboard gas* dan partikel padat yang jatuh oleh konveksi dan radiasi untuk kiln yang dilengkapi dengan lifters
6. S_0 , panas yang disuplai oleh sistem pemanas
7. Φ_{loss} , panas yang hilang dari dinding *kiln* ke ambient untuk *rotary kiln* yang langsung dipanaskan oleh konveksi dan radiasi.



Gambar 2.2. Mekanisme Perpindahan Panas *Rotary Kiln*

(a) *Indirect Fired* (b) *Direct Fired* (Stephane 2015)

Perpindahan panas antara dinding luar dan dinding dalam terjadi dengan konduksi, dan arahnya tergantung pada mode pemanasan *kiln*. Lifters dapat dianggap sebagai bagian dari dinding internal dan karenanya menambah area kontak (Stephane 2015).

2.5 Prinsip Aktivasi Karbon

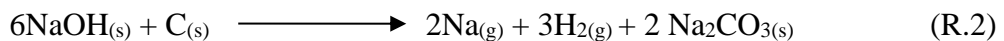
Karbon diaktivasi menggunakan NaOH melalui pembersihan sisa – sisa pengotor dan tar yang masih menempel pada pori – pori karbon. NaOH membuka pori – pori karbon dengan cara membawa pengotor keluar dari pori – pori karbon sehingga volume pori meningkat (Ahiduzzaman dan Islam., 2016). Selain menghilangkan pengotor yang tersisa pada karbon, mekanisme aktivasi karbon berlangsung dengan cara pengikisan dinding pori karbon oleh NaOH melalui reaksi NaOH dengan karbon sehingga terbentuk pori – pori baru (Pinero et al., 2004).

Reaksi NaOH dan karbon menghasilkan natrium, hidrogen, dan natrium karbonat.

Reaksi yang terjadi pada proses aktivasi ditunjukkan pada persamaan R.1 dan R.2.



(Apriyanti, 2016)



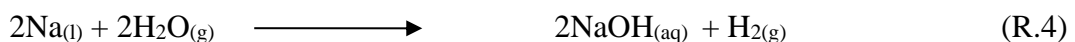
(Sharma, 2015)

Reaksi Samping Aktivasi

Proses aktivasi karbon disertai pula dengan reaksi NaOH dan SiO₂ yang dihasilkan dari karbonisasi sekam padi membentuk natrium silikat, natrium, dan air. Natrium yang dihasilkan dari reaksi NaOH dengan karbon akan bereaksi dengan air membentuk NaOH dan hidrogen. Reaksi samping pada proses aktivasi ditunjukkan oleh persamaan R.3 dan R.4.



(Rohaeti et al., 2015)



(Deguchi et al., 2015)

2.6 Spek Bahan Masuk Kiln

1. NaOH

Bentuk	: flake
Fase	: padat (suhu 30°C tekanan 1 atm)
Kemurnian	: 98%
Titik leleh	: 318,4°C
Titik didih	: 1390°C
Warna	: putih

Sifat	: basa
Kelarutan dalam air	: 119 g/L (pada 30°C, 1 atm)
Harga	: Rp8.500,00/kg

2. Karbon aktif

Bentuk	: Granula
Fasa	: padat (pada 30°C, 1 atm)
Ukuran	: 20 mesh
Kemurnian	: 89,34%
Kandungan air	: 1,999%
Lain-lain	: 8,3%
Harga	: Rp 44.931,69

3. Natrium Silikat (NaSiO₃)

Fasa	: Aqueous (pada 40°C dan 1 atm)
Kemurnian	: 34,63%
Harga	: Rp2.908,20

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan desain dan perhitungan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Spesifikasi dan ukuran *rotary kiln* yang dibutuhkan pada aktivasi karbon dari sekam padi kapasitas 17.000 ton/tahun yaitu :

Type : *Indirect fired rotary kiln*

Bahan konstruksi : *Stainless Steel SA 167 Grade 11 type 316*

Kapasitas : 22.500 kg/jam

Diameter : 2,438 m

Panjang : 42,672 m

Luas penampang : 4,667 m

Tebal *shell* : 0,0127 m

Kecepatan putar : 3 rpm

Daya : 93,213 kw

2. Bahan isolator yang digunakan pada *rotary kiln* adalah mineral *fiber block* dengan tebal 0,1223 m
3. Bahan bakar batubara yang dibutuhkan untuk suplai panas pada *rotary kiln* yaitu sebesar 595,934 kg/jam

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan validasi perhitungan waktu tinggal untuk menyesuaikan kebutuhan dan efisiensi
2. Perlu dipelajari lebih lanjut mekanisme perpindahan bahan dan perpindahan panas di dalam *rotary kiln*

DAFTAR PUSTAKA

- Ahiduzzaman, Md., dan A. K. M. S., Islam. 2016. Preparation of Porous Bio - Char and Activated Carbon from Rice Husk by Leaching Ash and Chemical Activation. *SpringerPlus* 5: 12-48.
- Alonso, E., Gallo, A., Roldán, M. I., Pérez-rábago, C. A., & Fuentealba, E. 2017. *Use of Rotary Kilns for Solar Thermal Applications : Review of Developed Studies and Analysis of Their Potential*. *Solar Energy*, 144, 90–104.
- Apriyanti, Eny. 2016. *Pembuatan Karbon Aktif dari Batubara dengan Proses Aktivasi CO₂*. *Jurnal Teknologi* 2(4): 472-481.
- Awakasi, A.B. 2008. *Transport Phenomena and Transport Processes: Rotary Kiln*. Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Babler, M. U., Phounglamcheik, A., Amovic, M., Ljunggren, R., & Engvall, K. 2017. *Modeling and Pilot Plant Runs of Slow Biomass Pyrolysis in a Rotary Kiln*. *Applied Energy*.
- Badan Pusat Statistik Indonesia. 2018. *Data Impor Karbon Aktif Indonesia 2008-2017*. November. Jakarta: BPS RI.
- Boateng, A.A. 2016. *Rotary Kiln: Transport Phenomena and Transport Processes*, 2nd Edition: pp. 85–106. Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Boone, R. Sidney. 2014. *Research Forest Products Technologist*. Fedenburg Corp. New Zeland
- Brownell, Lloyd E., dan Edwin H. Young. 1959. *Process Equipment Design*. John Wiley & Sons, Inc., United State of America.
- Chang, C. H., Genga, B. Y., Huanga, S. T., Songa, X. L., Sung, I. Y., dan Zhang, Y. 2013. Adsorption of Nitrate Ions onto Activated Carbon Prepared from Rice Husk by NaOH Activation. *Desalination and Water Treatment* 52, 4935–4941.
- Cencerrado, G. A., Pallarés, J., dan Arauzo, I. 2018. *Production and characterization of activated carbon from barley straw by physical activation with carbon dioxide and steam*. *Biomass and Bioenergy*, 115(April), 64–73.
- Das, D., Samal, D. P., & Bc, M. (2015). *Chemical Engineering & Process Technology Preparation of Activated Carbon from Green Coconut Shell and its Characterization*, 6(5).
- De Conto, D., W.P. Silvestre., C. Baldasso., dan M. Gadinho. 2016. *Performance of Rotary Kiln Reactor for The Elephant Grass Pyrolysis*. *Bioresource Technology*, 21(8): 153-160.
- Deguchi, Atsuko. 2015. *Curcumin Targets in Inflammation and Cancer*. *Endocrine, Metabolic & Immune Disorders - Drug Targets*, 15(2): 88-96.
- Geankoplis, C. J. 1983. *Transport Processes and Unit Operations, Third Edition*. Prentice-Hall International, Inc.

- Greets. 2011. *Biomass Energy Data Book*. Argone National Laboratory. Netherland.
- Grounli, M.G., R.C. Gabor., dan D.B. Colomba. 2002. Thermogravimetric Analysis and Devolatilization Kinetics of Wood. *Ind. Eng. Cheng* 41, 4201-4208
- Jauhari, R., Gray, M. R., dan Masliya, J. H. 1998. *Gas–Solid Mass Transfer in a Rotating Rrum*. Canadian Journal of Chemical Engineering, 76, 224–232.
- Heydenrych, M. D., Greeff, P., Heesink, A. B. M., dan Versteeg, G. 2002. *Mass Transfer in Rolling Rotary Kilns: a Novel Approach*. Chemical engineering science, 57(18), 3851-3859.
- Herz, F., Y. Sonavane., dan E. Specht.2016. *Analysis of Local Heat Transfer in Direct Fired Rotary Kilns*. International Heat Transfer Conference, 22086: 1–8.
- Holman, J.P. 1986. *Heat Transfer 8th Edition*. Mc Graw Hill Companies Inc. USA.
- Huchet, F., M. Piton, O. Le Corre., L. Le Guen., dan B Cazacliu. 2018. *A Coupled Thermal-Granular Model in Flights Rotary Kiln: Industrial Validation and Process Design*. Applied Thermal Engineering 75, 1011-1021.
- Kern, D.Q. 1965. *Process Heat Transfer*. Mc Graw Hill Book Company, Singapore.
- Koehlert, K. 2017. Activated Carbon: Fundamentals and New Application. Boston: Cabot Corp. <https://www.cabotcorp.com>. 29 Oktober 2018 (15:20).
- Kumar, A., & Jena, H. M. (2016). *Results in Physics Preparation and characterization of high surface area activated carbon from Fox nut (Euryale ferox) shell by chemical activation with H₃PO₄*. Results in Physics, 6, 651–658.
- Liu, P. K. T., dan N. J. Wagner. 1985. *Thermal Regeneration of Granular Activated Carbon*. Calgon Corp. Pittsburgh.
- Mazlan, F., Amir, M., Uemura, Y., dan Yusup, S. 2016. *Activated Carbon from Rubber Wood Sawdust by Carbon Dioxide Activation*. Procedia Engineering, 148, 530–537.
- Manocha, S., Joshi, P., Brahmabhatt, A., & Banerjee, A. 2017. *Development of Activated Carbon using One Step Carbonization and Activation Reaction by Polymer Blend Method*. (March 2017).
- Menya, E., Olupot, P. W., Candia, A., dan Walozi, R. (2016). Characterization of rice husk varieties in Uganda for biofuels and their techno-economic feasibility in gasification. Chemical Engineering Research and Design, 107, 63–72.
- Nelson, A., O.A. Oscar., dan I.S Graciela. 2005. *Dynamic Simulation of Pilot Rotary Kiln for Charcoal Activation*. Computers and Chemical Engineering, 29: 1837-1848.
- Ngapa, Y. D. 2017. *Study of The Acid-Base Effect on Zeolite Activation*. 2(2), 90–96.R
- Nidheesh, P. V, Zhou, M., dan Oturan, M. A. 2018. *Chemosphere an Overview on The Removal of Synthetic Dyes from Water by Electrochemical Advanced*

- Oxidation Processes*. Chemosphere, 197, 210–227.
- NIST. 2018. *Heat Capacity Data*.
- Ortiz, O. A., Martínez, N. D., Mengual, C. A., & Petkovic, L. M. 2003. *Performance Analysis of Pilot Rotary Kiln for Activated Carbon Manufacture, using A Steady State Mathematical Model*. (July).
- Perry, R.H., dan Green, D.W. 1999. *Perry's Chemical Engineer's Handbook 7th Edition*. Mc Graw Hill Company, Singapore.
- Perry, R. H. dan Green, D. W. 2008. *Perry's Chemical Engineers' Handbook, 8th edition*. McGraw Hill Book Company, Singapore.
- Piñero, R. E., P. Azaïs., T. Cacciaguerra., D. C. Amorós, D., A. L. Solano., dan F. Béguin. 2004. KOH and NaOH Activation Mechanisms of Multiwalled Carbon Nanotubes with Different Structural Organisation. *Carbon* 43(4): 786–795.
- Rohaeti, E., Sugiarti, S., dan Trivana. 2015. *Sintesis dan Karakterisasi Natrium Silikat (Na₂SiO₃) dari Sekam Padi*. Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan, 7(2), 66-75. ISSN: 2085-1227.
- Ronsse, Frederik. 2015. *Recent Advances in Thermochemical Conversion of Biomass*. Carbonization of Biomass.
- Saad, K., Khadhri, N., El, M., Mosbah, M., dan Moussaoui, Y. 2019. *Physical and Chemical Properties of the Rice Straw Activated Carbon Produced from Carbonization and KOH Activation Processes*. Biochemical Pharmacology.
- Sangines, C. P. S. De, dan Miguel, G. S. 2015. *Slow Pyrolysis of Olive Stones in A Rotary Kiln: Chemical and Energy Characterization of Solid, Gas, and Condensable Products*. Journal of Renewable and Sustainable Energy 7(4): 43-103
- Setyoningrum, T.M., Setiawan, A., dan Pamungkas, G. 2018. *Pembuatan Karbon Aktif dari Hasil Pirolisis Ban Bekas*. 15(2), 54–58.
- Sharma, S. K. 2015. *Green Chemistry for Dyes Removal from Wastewater*. Canada: Scrivener Publishing LLC.
- Stephane, B.N.A. 2015. *Experimental Study and Modeling of Hydrodynamic and Heating Characteristics of Figheted Rotary Kilns*. Rapsodee Center, Paris.
- Thuadaj, N., dan Nuntiya, A. 2008. *Synthesis and Characterization of Nanosilica from Rice Husk Ash Prepared by Precipitation Method*. CMU.J. Nat. Sci. Special Issue on Nanotechnology 7(1).
- Timmerhause, K.D., dan M. S. Peter. 1991. “*Plant Design and Economics for Chemical Engineers*” 3rd Eddition. Mc Graw Hill Book Companies Inc. Singapore.
- Treyball, R.E. 1984. *Mass Transfer Operation*. International Student Edition. Mc Graw Hill International Book Company. Japan.
- Trivana., Rohaeti, E., dan Sugiarti, S. 2015. *Sintesis dan Karakterisasi Natrium Silikat (Na₂SiO₃) dari Sekam Padi*. Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan

- 7(2), 66-75. ISSN: 2085-1227.
- Uchibori, A., A. Kurihara., dan H. Ohshima. 2015. *Development of a Multiphysics Analysis System for Sodium-Water Reaction Phenomena in Steam Generators of Sodium-Cooled Fast Reactors*. AIP Conference Proceedings 1702.
- Ulrich, G.D. 1984. *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. John Wiley & Sons Inc. New York.
- Utomo, Pranjoto. 2018. *Sintesis Zeolit dari Abu Sekam Padi pada Temperatur Kamar*. FMIPA: 3-20.
- Vijayan, S. N., dan Sendhilkumar, S. 2017. *Industrial Applications of Rotary Kiln in Various Sectors - A Review*. International Journal of Engineering Innovation & Research Volume 3(3): 2277 – 5668
- Wallas, S. M., 1988. *Chemical Process Equipment Selection and Design, 3rd edition*, Butterworth Publisher, Stoneham USA.
- Wardani, S., Elvitriana., dan V. Viena. 2017. *Potensi Karbon Aktif Kulit Pisang Kepok (Musa Acuminata L) dalam Menyerap Gas CO dan SO₂ pada Emisi Kendaraan Bermotor*. Serambi Engineering, 3(1): 262-270.
- Yorgun, S., dan Yıldız, D.2015. *Preparation and characterization of activated carbons from Paulownia wood by chemical activation with H₃PO₄*. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 53(December 2017), 122–131.
- Zhang, Y., X. L. Songa., S.T. Huang., B. Y. Genga., C. H. Chang., dan I. Y. Sung. 2013. *Adsorption of Nitrate Ions onto Activated Carbon Prepared from Rice Husk by NaOH Activation*. Desalination and Water Treatment 5(2), 4935–4941.