

PRARANCANGAN UNIT PROSES PABRIKASI COATING KERNEL UO₂ DENGAN KAPASITAS 10 TON/TAHUN

Akbar Yulandra¹, Bangun Wasito¹, Noor Anis Kundari¹

1) Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir Badan Tenaga Nuklir Nasional
Jl. Babarsari Kotak Pos 6101/YKBB Yogyakarta
Telp : (0274)48085,489716; Fax: (0274)489715
Indonesia, sttn@batan.ac.id

ABSTRAK

PRARANCANGAN UNIT PROSES PABRIKASI COATING KERNEL UO₂ DENGAN KAPASITAS 10 TON/TAHUN. Pabrik *coating* kernel UO₂ dapat dirancang dengan melakukan beberapa tahapan yaitu: penentuan kapasitas, penentuan teknologi proses, perhitungan neraca massa, perhitungan neraca panas, perancangan alat, penentuan letak peralatan dan peta pabrik, dan perhitungan kelayakan pabrik berdasarkan analisis ekonomi. Pabrik *coating* kernel UO₂ memiliki kapasitas 10 ton / tahun dengan waktu operasi 330 hari, proses yang digunakan dalam *coating* kernel uranium oksida adalah proses metoda *chemical vapour deposition*. Ukuran reaktor pelapisan *porous pyrocarbon*, *inner pyrocarbon* dan *outer pyrocarbon* dengan diameter dalam 1,08 m, tebal isolator 0,02 m, tebal shell 0,150 m dengan tinggi reaktor 5,54 m. Ukuran reaktor pelapisan *Silicon carbide* dengan diameter dalam 1,08 m, tebal isolator 0,09 m, tebal *shell* 0,260 m dengan tinggi reaktor 6.25 m. Utilitas meliputi listrik sebesar 924,81 kW, air sebanyak 441,836 m³. Hasil perhitungan kelayakan ekonomi menunjukkan *fix capital investment* sebesar Rp 192.812.494.326,40, *Working capital* Rp 10.310.828.573,60, *manufacturing cost* Rp 406.596.300.982,24, ROI (*Return On Investment*) sebesar 22 % sebelum pajak dan 16 % setelah pajak, POT (*Pay Out Time*) sebesar 3 tahun sebelum pajak dan 3,8 tahun setelah pajak, SDP (*Shut Down Point*) sebesar 32,85 %, BEP (*Break Even Point*) sebesar 53,67 %.

Kata kunci: *Coating*, Kernel, Perancangan, Analisis Ekonomi

ABSTRACT

PRELIMINARY DESIGN OF FABRICATION OF COATING KERNEL UO₂ PROCESSING 10 TON/YEAR. The factory *coating* kernel UO₂ can be designed by performing several steps: determination of capacity, the determination of process technology, mass and heat balance calculations, design of equipments, determining the layout of equipments and a map of the factory, and followed by the factory feasibility study based on economic analysis. The factory has a capacity of 10 tons/year UO₂ coated kernel with 330 days operating time per year. The process used in the *coating* of uranium oxide kernel by *chemical vapour deposition* method. The used Reactor consist of reactor *porous pyrocarbon*, *inner coating*, *silicon carbide coating*, and *outer coating*. The dimensions of *porous pyrocarbon* reactor i.e a diameter 1.08 m, insulating thickness 0.02 m, thickness of shell 0.150 m and the overall height of reactor is 5.54 m. The sizes of the *Silicon carbide coating* reactor are a diameter in 1,08 m, insulating thickness 0.09 m, thickness of shell 0,260 m and the overall height of reactor is 6.25 m. Utilities include electricity of 924.81 kW. water as much as 441.836 m³. Determine of layout equipment considered safety factor, construction system, and expansion unit process. The unit process will be established in Muntok, Bangka Belitung The economic analysis is also taken into account as the feasibility study of the factory. Economic feasibility calculation results showed that the total fixed capital investment is Rp 192.812.494.326,40, Working capital is Rp 10.310.573,60, Manufacturing Cost is Rp 406.596.300.982,24, ROI (*Return On Investment*) is 22% and 16 % before tax after tax, POT (*Pay Out Time*) is 3 the year before tax and 3.8 the year after tax, SDP (*Shut Down Point*) is 32.85 %, BEP (*Break Even Point*) is 53.67%. Keyword: *Coating*, Kernel, Pradesign. Economic Analysis

Keyword: *coating*, kernel, predesign. Economic analysis

PENDAHULUAN

Dengan meningkatnya permintaan energi di dunia, terutama di negara-negara berkembang, tenaga nuklir akan menjadi sebagai alternative sumber energi bersih yang berkaitan dengan pengaruh iklim dan sehubungan dengan upaya dalam mengurangi emisi CO2 (Georg Brähler, 2011). Teknologi HTR sementara sedang dipertimbangkan oleh beberapa negara termasuk Indonesia, karena keunikan fitur-fiitur safety, terutama inherent safety, berdasarkan konsep reaktor dan desain bahan bakarnya..

Dalam produksi bahan bakar kernel TRISO *High Temperature Gas Cooled Reactor* (HTGR) terdapat suatu tahapan yaitu kernel UO₂ dilapisi dengan metoda *chemical vapour deposition* (CVD) pada reaktor fluidisasi menggunakan fluida gas. Pada tahap ini, deposisi saat proses coating atau pelapisan menjadi faktor yang sangat penting, dan begitu pula perilaku fluida yang melewati fluidized bed. Dengan mempelajari dinamika fluida yang terjadi saat proses fluidisasi ini dapat diketahui hubungan antara kondisi deposisi dan efektifitas fluidisasi (López-Honorato, et al., 2009)

Hingga saat ini Indonesia telah merencanakan pembangunan PLTN menurut roadmap sektor industri energi nuklir pada Buku Putih Indonesia 2005-2025 menyatakan bahwa Indonesia akan memiliki 4 PLTN pada akhir tahun 2025 dan akan memenuhi kebutuhan listrik Indonesia sebanyak 4-5%. Dengan dirikan unit proses pabrikasi coating di Indonesia, kemungkinan dapat menjadi penyuplai bahan setengah jadi untuk bahan bakar PLTN.

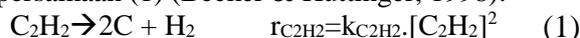
TEORI

Konsep pembuatan bahan bakar kernel adalah untuk memperoleh satuan bahan bakar sekecil mungkin dan berupa partikel berlapis yang tidak saja harus dapat mengungkung produk fisi tetapi berfungsi pula sebagai moderator dengan adanya grafit. Dengan demikian perbedaan suhu dalam bahan bakar kecil dan bahan bakar tidak mudah mengalami keretakan. Partikel berlapis tersebut terdiri atas 2 macam bentuk, yakni BISO (*Bi-Structural Isotropic*) dan TRISO (*Tri Structural Isotropic*).

Bentuk BISO terdiri dari 2 lapisan pirolitik karbida. Bentuk ini memiliki kelemahan yakni tidak mampu mengungkung hasil fisi seperti Cs, Sr, dan Ag. Bentuk TRISO terdiri dari 3 lapisan pirolitik karbida dan ditambah lagi lapisan silikon karbida (SiC) (Rohanda, 2004):

Proses Pelapisan pirokarbon dari Asetilen

Gas asetilen terdekomposisi menjadi senyawa hidrokarbon yang banyak sekali dan melibatkan rekasi yang banyak pula. Berikut adalah skema pelapisan pelapisan pirokarbon dari senyawa asetilen ditampilkan pada Tabel 1 Reaksi keseluruhan pelapisan pyrocarbon dari prekursor *gas acetylene* ditampilkan pada persamaan (1) (Becker & Hüttinger, 1998).

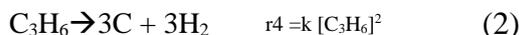


Tabel 1. Reaksi pelapisan pyrocarbon dari acetylene

Reaksi	Pers kinetika
$C_2H_2 \rightarrow \frac{1}{2}C_4H_2 + \frac{1}{2}H_2$	$r_1 = k_1 \cdot [C_2H_2]^2$
$2 C_2H_2 \rightarrow C_4H_3 + H$	$r_2 = k_2 \cdot [C_2H_2]^2$
$C_2H_2 \rightarrow \frac{1}{2} C_4H_4$	$r_3 = k_3 \cdot [C_2H_2]^2$
$C_4H_4 \rightarrow \frac{1}{2} C_8H_8$	$r_4 = k_4 \cdot [C_4H_4]^2$
$C_4H_4 + C_2H_2 \rightarrow C_6H_6$	$r_5 = k_5 \cdot [C_4H_4][C_2H_2]$
$C_8H_8 \rightarrow C_2H_2 + C_6H_6$	$r_6 = k_6 \cdot [C_8H_8]^2$
$C_4H_3 + H \rightarrow 2C_2H_2$	$r_7 = k_7 \cdot [C_4H_3][H]$
$C_4H_2 + H \rightarrow C_2H_2 + C_2H$	$r_8 = k_8 \cdot [C_4H_2][H]$
$C_2H + H \rightarrow C_2H_2$	$r_9 = k_9 \cdot [C_2H][H]$
$C_2H_2 \rightarrow 2C + H_2$	$r_{10} = k_{10} \cdot [C_2H_2]^2$
$C_6H_6 \rightarrow 6 C + 3H_2$	$r_{11} = k_{11} \cdot [C_6H_6]^2$
$C_2H + H_2 \rightarrow C_2H_2 + H$	$r_{12} = k_{12} \cdot [C_2H][H_2]$
$C_4H_4 \rightarrow 2 C_2H_2$	$r_{13} = k_{13} \cdot [C_4H_4]^2$

Pelapisan Pirokarbon dari Propilen

Skema reaksi pelapisan pirokarbon dari senyawa propilen ditampilkan dalam Tabel 5. . Reaksi keseluruhan pelapisan pyrocarbon dari prekursor *gas acetylene* ditampilkan pada persamaan (2) (Li, 2005).



Tabel 2. Reaksi pelapisan pyrocarbon dari propylene

Reaksi	Pers kinetika
$C_3H_6 \rightarrow \frac{1}{2} C_6H_6 + \frac{3}{2} H_2$	$r_1 = k_1 [C_3H_6]^2$
$C_3H_6 \rightarrow C_2H_2 + CH_4$	$r_2 = k_2 [C_3H_6]^2$
$C_2H_2 \rightarrow \frac{1}{3} C_6H_6$	$r_3 = k_3 [C_2H_2]^2$
$C_3H_6 \rightarrow 3C + 3H_2$	$r_4 = k_4 [C_3H_6]^2$
$CH_4 \rightarrow C + 2H_2$	$r_5 = k_5 [CH_4]^2$
$C_2H_2 \rightarrow 2C + H_2$	$r_6 = k_6 [C_2H_2]^2$
$C_6H_6 \rightarrow 6C + 3 H_2$	$r_7 = k_7 [C_6H_6]^2$

Pelapisan SiC dan Pirolisis Methyltrichlorosilane

Menurut (Lu, et al., 2009) beberapa teori menunjukkan CH₃ dan SiCl₂ merupakan hal yang sangat penting dalam pembentukan pelapisan SiC dari MTS. Berikut adalah skema reaksi fase gas:



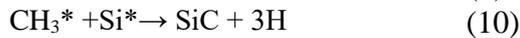
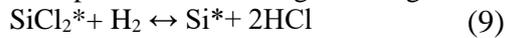
Reaksi homogen berikutnya



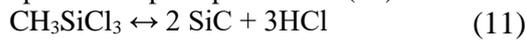
Tipe peralihan yang teradsorpsi pada permukaan kernel



Tanda * merupakan situs bebas; SiCl₂^{*}, CH₃^{*}, H^{*}, Cl^{*} jenis yang terserap; SiCl₂^{*} yang terserap dan bereaksi dengan hidrogen



Reaksi keseluruhannya pelapisan SiC dapat dilihat pada persamaan (11).



Perancangan Unit Proses

Dalam pembangunan suatu unit proses atau pabrik, ada beberapa proses atau tahapan yang harus dilalui sebelum unit proses atau pabrik tersebut dapat dikonstruksi dan beroperasi secara optimal. (Habiburrohman 2012) ditampilkan pada Gambar 1.

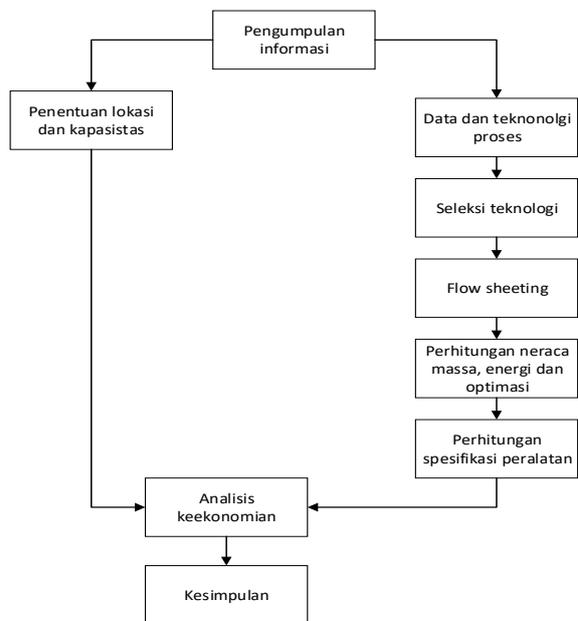


Diagram Alir Perancangan

Keterangan Gambar 1 di jelaskan pada Tabel 3.

Tabel. 1. Keterangan untuk setiap tahapan dalam feasibility study

Tahapan	Keterangan
Pengumpulan Informasi	Mengumpulkan segala informasi yang dibutuhkan. Mulai dari data supply demand, proses dan teknologi yang bersangkutan, sampai pabrik existing yang sudah ada untuk benchmarking atau perbandingan
Penentuan Lokasi dan Kapasitas	Menentukan Lokasi yang terbaik untuk pendirian pabrik. Dalam penentuan lokasi biasanya dipertimbangkan faktor- faktor yang menguntungkan seperti ketersediaan bahan baku, akses transportasi dan komunikasi, pasar, dan lain-lain.
Data proses dan Teknologi	Mengumpulkan data-data penting yang dibutuhkan dalam proses, baik secara umum maupun spesifik. Dari informasi ini nantinya akan dilakukan penyeleksian dan perancangan proses yang paling sesuai untuk pabrik yang dirancang.
Seleksi teknologi	Menyeleksi atau memilih teknologi atau proses yang paling sesuai dan paling menguntungkan.
Flowsheeting	Membuat diagram alir proses yang telah dirancang.
Perhitungan Neraca Massa Energi dan Optimasi	Melakukan perhitungan Neraca Massa agar diketahui laju bahan baku yang dibutuhkan dalam proses berdasarkan kapasitas yang telah ditentukan. Dari perhitungan ini juga akan didapatkan aliran panas atau energi dalam proses yang nantinya dapat dioptimasi atau di recovery agar lebih efisien dan ekonomis
Perhitungan Spesifikasi Peralatan	Mendesain spesifikasi dan dimensi setiap peralatan yang digunakan dalam proses yang telah dirancang.
Analisis Keekonomian	Melakukan perhitungan estimasi biaya investasi, biaya produksi, dan menghitung laba atau rugi yang diperoleh, hingga melakukan analisis kelayakan terhadap beberapa parameter (biasanya NPV, IRR, dan Payback period). Hasil analisis ini yang paling menggambarkan apakah pabrik ini layak untuk dibangun atau tidak.
Kesimpulan	Menyimpulkan berdasarkan tahapan yang telah dilakukan sebelumnya, apakah pabrik yang dirancang ini layak atau tidak untuk dibangun.

Metodologi

Studi Literatur

Studi literatur berisi tentang tinjauan awal mengenai potensi uranium oksida, gas *acetylene*, *propylene*, *methyltrichlorosilane* dan proses pelapisan *pyrocarbon* dan *silicon carbide* sampai mekanisme prosesnya

Penentuan Lokasi dan Kapasitas

Penentuan kapasitas produksi didasari bahwa pada tahun 2025 Indonesia akan memiliki 4 PLTN dengan kapasitas masing-masing 1000 MWe. Asumsi bahwa bahan bakar kernel uranium oksida hanya akan memenuhi 1 dari 4 PLTN tersebut.

Seleksi Teknologi

Pada tahap ini akan dilakukan penyeleksian teknologi pelapisan *pyrocarbon* dan *silicon carbide* yang akan digunakan. Penyeleksian dengan mempertimbangkan variabel-variabel (berdasarkan literatur) seperti jenis gas dan partikel yang akan dilapisi, efisiensi dari segi energi dan utilitas, juga capital cost dari teknologi yang digunakan, dan konversi reaksi. Ada dua jenis teknologi pelapisan kernel uranium antara lain proses atomisasi dan proses *chemical vapor deposition*.

Dari hasil penilaian maka dipilih proses *chemical vapor deposition* untuk proses coating kernel UO_2 . Pemilihan proses *chemical vapor deposition* didasarkan suhu operasi yang tinggi, keseragaman lapisan lebih baik dari pada proses atomisasi dan lebih efisien.

Flowsheeting

Merupakan pembuatan blok diagram alir dan process flow diagram dengan software *microsoft visio* dari sistem proses yang telah dirancang.

Neraca Massa Energi (NME) dan Optimasi

Dari system proses yang dirancang, akan dilakukan perhitungan NME dari keseluruhan system tersebut, dari perhitungan ini akan diketahui efisiensi baik dari segi massa dan energi.

Spesifikasi Peralatan

Akan dilakukan perhitungan spesifikasi peralatan yang ada pada sistem, terutama

peralatan utama proses seperti reaktor. Sehingga akan dihasilkan spesifikasi peralatan dengan kondisi operasional, material, dan dimensi peralatan tersebut.

Hasil dan Pembahasan

Neraca massa

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa jumlah bahan baku gas *acetylene* sebanyak 135,289 ton/tahun, gas *propylene* 94,365 ton/tahun, *methyltrichlorosilane* 17,05 ton/tahun, kernel UO_2 10 ton/tahun, dari hasil tersebut dapat diperhitungkan untuk 330 kerja untuk memenuhi kapasitas 10 ton kernel UO_2 terlapsi dalam setahun.

Diagram Alir Proses

Diagram alir proses pelapisan kernel UO_2 ditampilkan pada Gambar 8. Pada diagram alir proses ini terdapat sistem kontrol alat proses, yaitu *flow control* untuk mengontrol laju aliran gas input, *pressure control* untuk mengontrol tekanan operasi, dan *temperature control* untuk mengatur suhu operasi.

Flow control digunakan untuk mengatur kecepatan aliran gas yang diperlukan untuk fluidisasi minimum proses coating. *Pressure control* digunakan untuk mengatur tekanan operasi reaktor pelapisan kernel UO_2

Temperature control berjalan dengan *temperature indicator* pada reaktor. Saat suhu reaktor dibawah suhu operasi maka *temperature indicator* akan mengirimkan signal *temperature control* untuk menambah arus listrik supaya suhu reaktor terjaga pada suhu operasi. Saat suhu reaktor lebih tinggi dari suhu operasi atau sudah diluar kemampuan alat maka sensor akan mengirimkan signal ke *temperature control* untuk menurunkan suhu dan mengentikan operasi produksi

Gambar diagram alir proses pelapisan kernel UO_2 ditampillkan pada Gambar 2.

proses pelapisan

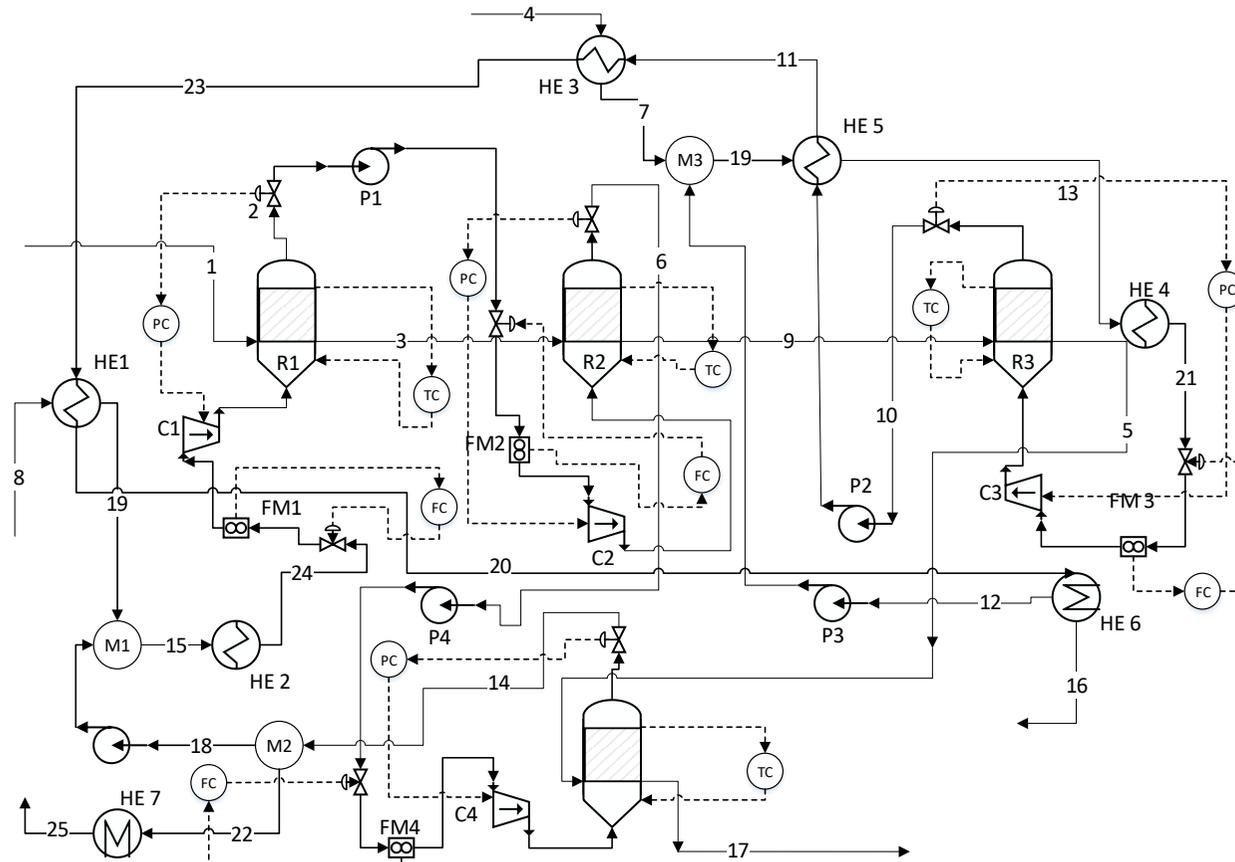


Diagram alir kernel UO₂

R	= Reaktor	C	= Compressor	HE	=Heat Exchanger
FM	= Flow meter	M	= Tangki mixing	P	= Pompa
TC	= Kontrol temperatur	PC	= Kontrol tekanan	FC	= Kontrol arus

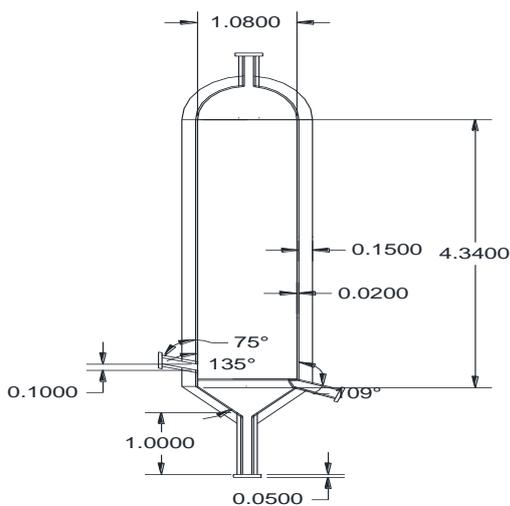
Perancangan alat

Suhu operasi reaktor pelapisan pyrocarbon dan silicon carbide diantara rentang suhu 1350°C sampai 1500°C. pada suhu operasi ini tidak ada material bahan yang ekonomis dan kuat sebagai bahan konstruksi reaktor, oleh sebab itu digunakan isolator batu tahan api sebagai penurun suhu pada shell reaktor. Suhu yang telah turun diluar permukaan isolator langsung dilapisi lagi dengan shell konstruksi reaktor dengan bahan SA-167 grade 11 karena memiliki tensile strength tinggi dan tahan korosi suhu tinggi

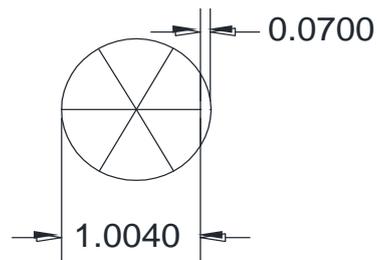
Ukuran reaktor pelapisan porous pyrocarbon, inner pyrocarbon dan outter pyrocarbon dengan diameter dalam 1,08 m, tebal isolator 0,02 m, tebal shell 0,150 m dengan tinggi reaktor 5,54 m. Ukuran reaktor pelapisan Silicon carbide dengan diameter dalam 1,08 m, tebal isolator 0,09 m, tebal shell 0,260 m dengan tinggi reaktor 6.25 m. Utilitas meliputi listrik sebesar 924,81 kW, air sebanyak 441,836 m³

Bentuk distributornya adalah segitiga jarak *pitch*nya lebih pendek. Bentuk sigitiga memberi pengaruh kecepatan gas dan kekuatan daya dorong gas terhadap partikel yang lebih besar.

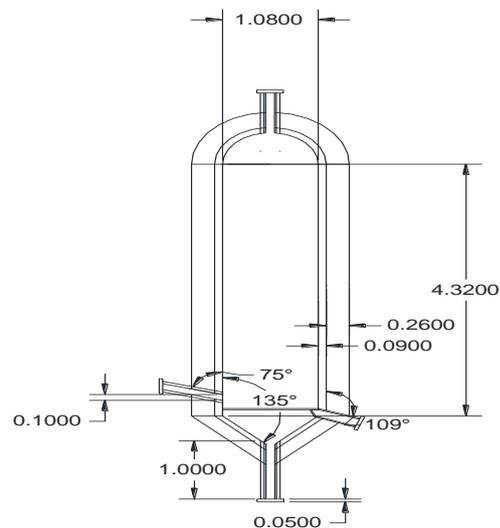
Berikut adalah gambar reaktor pelapisan kernel UO₂. Reaktor pelapisan *porous pyrocarbon*, *Inner pyrocarbon* dan *outter pyrocarbon* ditampilkan pada Gambar 3 distributornya ditampilkan pada Gambar 4. Reaktor pelapisan SiC dan distributornya ditampilkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



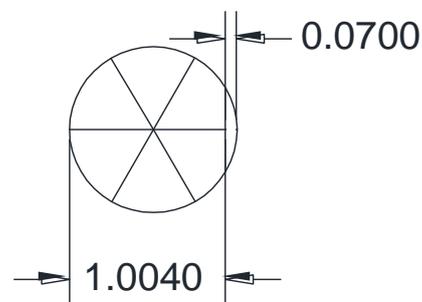
Dimensi reaktor 1 , 2 dan 4



Distributor gas reaktor 1, 2 dan 4



Dimensi reaktor 3



Distributor gas reaktor 3

Penentuan tata letak peralatan dan bangunan

Unit proses akan didirikan di muntok provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Lokasi dipilih berdasarkan dekat dengan sumber bahan baku gas alam dan sebagai tapak pendirian PLTN, ketersediaan fasilitas transportasi, pemasaran, buruh dan tenaga kerja, utilitas, lahan, iklim, kebijakan pemerintah dan sarana penunjang lain.

Analisa Ekonomi

Tahun evaluasi yang digunakan untuk analisa kelayakan merupakan tahun 2017 dan peralatan akan dibeli secara bertahap dan dipasang samapai tahun 2020. Hasil perhitungan kelayakan ekonomi menunjukkan *fix capital investment* sebesar Rp 192.812.494.326,40, *Working capital* Rp 10.310.828.573,60, *manufacturing cost* Rp 406.596.300.982,24, ROI (*Return On Investment*) sebesar 22 % sebelum pajak dan 16 % setelah pajak, POT (*Pay Out Time*) sebesar 3 tahun sebelum pajak dan 3,8 tahun setelah pajak, SDP (*Shut Down Point*) sebesar 32,85 %, BEP (*Break Even Point*) sebesar 53,67 %.

Kesimpulan

Unit proses coating kernel UO_2 dengan kapasitas 10 ton/tahun beroperasi 330 hari digolongkan berisiko tinggi karena beroperasi pada kondisi tekanan tinggi Hasil perhitungan kelayakan ekonomi menunjukkan *fix capital investment* sebesar Rp 192.812.494.326,40, *Working capital* Rp 10.310.828.573,60, *manufacturing cost* Rp 406.596.300.982,24, ROI (*Return On Investment*) sebesar 22 % sebelum pajak dan 16 % setelah pajak, POT (*Pay Out Time*) sebesar 3 tahun sebelum pajak dan 3,8 tahun setelah pajak, SDP (*Shut Down Point*) sebesar 32,85 %, BEP (*Break Even Point*) sebesar 53,67 %. Berdasarkan hasil perhitungan analissi ekonomi di atas dapat disimpulkan bahwa unit proses coating kernel UO_2 layak untuk didirikan.

Daftar Pustaka

1. López-Honorato, P. J. E. Meadows and P. Xiao, "Fluidized bed chemical vapor deposition of pyrolytic carbon - I. Effect of deposition conditions on microstructure," *Carbon*, pp. 396-410, 2009.
2. A. Rohanda, "Pengaruh Kalsinasi pada Suhu 900 dan 1000 oC terhadap Sifat Fisis Kernel U_3O_8 ," Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2004.
3. A. Becker dan K. Hüttinger, "Chemistry And Kinetics Of Chemical Vapor Deposition Of Pyrocarbon - III," *Carbon*, pp. 200-213, 1998.
4. C. Lu, L. Cheng, C. Zhao, L. Zhang dan Y. Xu, "Kinetics of chemical vapor deposition of SiC from methyltrichlorosilane and hydrogen," *Applied Surface Science*, pp. 7495-7499, 2009.
5. M. Habiburrohman, "Perancangan Pabrik Gas Sintesis Menggunakan Proses Gasifikasi Batubara Sebagai Bahan Baku Pembuatan Bahan Bakar Cair," Universitas Indonesia, Depok, 2012.

