

Analisis Keefektifan *Heat Exchanger* Pipa Konsentris pada Proses Amoniak dengan Variasi Laju Aliran

Jones Victor Tuapetel^{1,a)}, Muhammad Aryzal Nuruzzaman^{2,b)}, Sasi Kirono^{3,c)}

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin
Jl. Raya Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan-Banten, Indonesia, 15320

³Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur
BPPT, Tangerang Selatan-Banten, Indonesia, 15314

^{a)} jvictor_tuapetel@iti.ac.id¹, ^{b)} muhammadaryzal@gmail.com, ^{c)} sasi.kirono@bppt.go.id

Abstrak

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk membandingkan efektifitas dari *heat exchanger* pipa konsentris. Metode penelitiannya yaitu dengan melakukan analisis baik secara perhitungan maupun simulasi. Metode perhitungan dilakukan dengan metode *Number of Transfer Unit* (NTU) dan perhitungan simulasi dilakukan dengan menggunakan Ansys Fluent 16.0. Diperoleh perbedaan yang cukup signifikan antara hasil perhitungan dengan hasil simulasi, dimana keefektifan *heat exchanger* pipa konsentris dari hasil perhitungan sebesar 25,88% pada keadaan laju aliran fluida panas 360 l/jam dengan temperatur 80°C, dan aliran fluida dingin 180 l/jam dengan temperatur 20 °C. Sedangkan hasil keefektifan *heat exchanger* pipa konsentris berdasar simulasi adalah sebesar 20,79% pada kondisi yang sama.

Kata kunci: Ansys Fluent 16.0, efektifitas, *heat exchanger*, metode NTU, pipa konsentris

Abstract

This research aim is to compare effectiveness of concentric pipe heat exchanger. The research methods are analyzing by theory's calculation and analyzing by simulation. Theory calculation uses Number of Transfer Unit (NTU) method and simulation calculation uses Ansys Fluent 16.0. The result of the calculation differ significantly with the simulation results. The calculation method yield 25.88% effectiveness at the condition of 360 l/hour hot fluid flow rate with 80°C temperature and 180 l/hour cold fluid flow rate with 20°C temperature. Whereas the simulation yield 20.79% effectiveness at the same condition.

Keywords: Ansys Fluent 16.0, concentric pipe, effectiveness, heat exchanger, NTU method

I. PENDAHULUAN

Negara Indonesia merupakan negara agraris dengan sektor pertanian yang memegang peranan penting bagi perekonomian negara. Berkembangnya sektor pertanian semakin meningkatkan kebutuhan akan pupuk, sementara negara Indonesia juga mempunyai sumber daya alam melimpah berupa bahan-bahan yang dapat diolah menjadi pupuk. Salah satu produk pupuk adalah amoniom Sulfat (ZA).

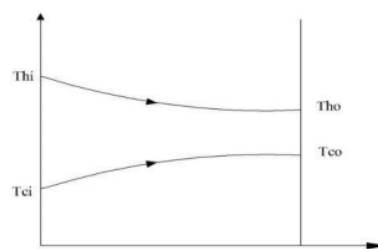
Penelitian ini melakukan analisis pada *heat exchanger* dengan dukungan simulasi aliran fluida dinamis secara komputasi dengan perangkat lunak (*software*) Ansys Fluent 16.0, dimana diharapkan dari hasil simulasi ini dapat dilihat aliran fluida yang meliputi tekanan, temperatur, wujud fluida, dan sebagainya.

II. LANDASAN TEORI

Alat penukar kalor atau *heat exchanger* (HE) adalah alat yang digunakan untuk memindahkan panas dari sistem ke sistem lain tanpa perpindahan massa dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin [1]. Pertukaran panas terjadi karena adanya kontak, baik

antara fluida terdapat dinding yang memisahkannya maupun keduanya bercampur langsung (*direct contact*).

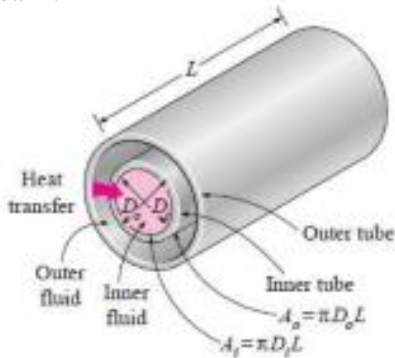
Penukar panas merupakan alat yang dapat memindahkan panas dari satu sistem ke sistem yang lain tanpa terjadi perpindahan massa dari sistem satu ke sistem lainnya. Penukar panas banyak dipakai di industri seperti kilang minyak, pabrik kimia maupun petrokimia, industri gas alam, refrigerasi, pembangkit listrik. Ilustrasi distribusi suhu pada alat penukar kalor aliran searah ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Distribusi suhu *heat exchanger* aliran searah [2]

Sebuah alat penukar kalor terdiri atas 2 fluida yang mengalir yang dipisahkan oleh sebuah dinding yang solid.

Pertama kali panas dipindahkan dari fluida panas ke dinding secara konveksi, kemudian melewati dinding secara konduksi, kemudian dari dinding ke fluida dingin secara konveksi. Efek radiasi apapun biasanya termasuk di dalam koefisien perpindahan panas konveksi. Tahanan panas (*heat resistance*) yang berhubungan dengan proses perpindahan ini terdiri atas dua tahanan panas konveksi dan satu tahanan panas konduksi seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Bagian-bagian *heat exchanger* pipa konsentris aliran sejajar [2]

Performansi alat penukar kalor biasanya semakin menurun dengan bertambahnya waktu pemakaian sebagai akibat terjadinya penumpukan kotoran pada permukaan alat penukar kalor. Lapisan kotoran (*fouling*) tersebut menimbulkan hambatan tambahan pada proses perpindahan panas dan mengakibatkan penurunan laju perpindahan panas pada alat penukar kalor [2]. Tabel faktor kekotoran fluida ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Faktor kekotoran untuk berbagai fluida [2]

Fluid	$R_f, m^2, ^\circ C/W$
Distilled water, Sea Water, River Water, Boiler Feed water :	
Below 50°C	0,0001
Above 50°C	0,0002
Fuel Oil	0,0009
Steam (Oil Free)	0,0001
Refrigerants (Liquid)	0,0002
Refrigerants (Vapor)	0,0004
Alcohol vapors	0,0001
Air	0,0004

Metode perhitungan dengan *logarithmic mean temperature difference* (LMTD) dapat digunakan bila keempat suhu dari 2 fluida diketahui, yaitu fluida masuk (fluida panas dan dingin), suhu fluida keluar (fluida panas dan dingin). Tetapi sering dalam persoalan alat penukar kalor yang diketahui suhu fluida panas dan dingin yang masuk. Maka dari itu digunakan metode NTU yang diperkenalkan oleh Nusselt [3].

Efektivitas dari sebuah alat penukar kalor memiliki hubungan dengan bilangan tanpa dimensi yaitu U_a/C_{min} , dimana bilangan tanpa dimensi itu disebut dengan NTU atau *Number of Transfer Units*. Persamaan NTU yakni:

$$NTU = \frac{U_a}{C_{min}} = \frac{U_a}{(\dot{m} C_p)_{min}} \tag{1}$$

Perbandingan dari kapasitas panas atau $\frac{C_{min}}{C_{max}}$ juga memiliki hubungan dalam menentukan nilai efektifitas dari sebuah alat penukar kalor. Perbandingan kapasitas panas dituliskan dalam bentuk persamaan yakni:

$$c = \frac{C_{min}}{C_{max}} \tag{2}$$

Sedangkan efektifitas dari sebuah alat penukar kalor merupakan fungsi dari *NTU* dan *c* dari sebuah alat penukar kalor, yang dapat dirumuskan:

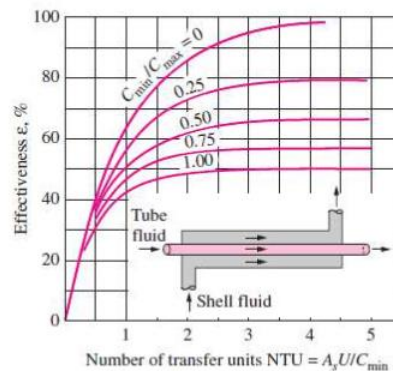
$$E = \text{fungsi} \left(\frac{U_a}{(\dot{m} C_p)_{min}}, \frac{C_{min}}{C_{max}} \right) = \text{fungsi} (NTU, c) \tag{3}$$

Hubungan efektifitas dengan *c* menggunakan metode NTU ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Hubungan efektifitas *NTU* dan *c*.

Heat Exchanger Type	Effectiveness Relation
Double Pipe : Parallel-flow	$\epsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1 + c)]}{(1 + c)}$
Counter-flow	$\epsilon = \frac{1 - \exp[(-NTU(1 + c))]}{1 - c \exp[(-NTU(1 + c))]}$
Shell and tube : One-shell pass 2, 4,.. tube passes	$\epsilon = 2 \left\{ 1 + c + \sqrt{1 + c^2} \frac{1 + \exp[-NTU\sqrt{1 + c^2}]}{1 - \exp[-NTU\sqrt{1 + c^2}]} \right\}^{-1}$
Cross-flow (Single-Passes)	
Both fluids unmixed	$\epsilon = 1 - \exp \left\{ \frac{NTU^{0,22}}{c} [\exp(-c NTU^{0,78}) - 1] \right\}$
C_{max} mixed, C_{min} unmixed,	$\epsilon = \frac{1}{c} (1 - \exp[1 - c(1 - \exp[-NTU])])$
C_{min} mixed, C_{max} unmixed,	$\epsilon = 1 - \exp \left\{ \frac{1}{c} [1 - \exp(-c NTU)] \right\}$
All Heat Exchanger with $c = 0$	$\epsilon = 1 - \exp(-NTU)$

Efektivitas dengan aliran searah ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Grafik efektifitas aliran searah

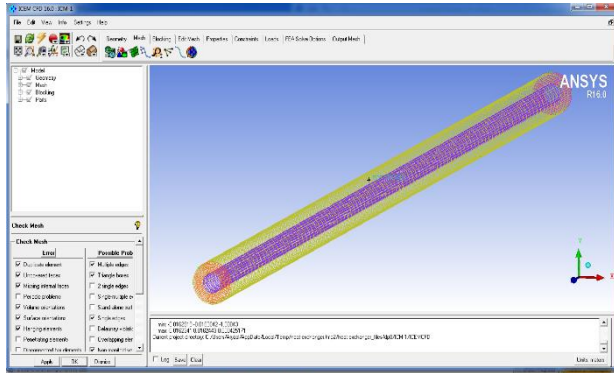
III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan dua metode yaitu metode perhitungan dan simulasi. Metode perhitungan dilakukan

dengan mempelajari referensi literatur untuk menghitung besar keefektifan *heat exchanger* pipa konsentris. Metode simulasi dilakukan untuk dibandingkan hasil tingkat keefektifannya.

A. Desain Penelitian

Proses desain dimulai dengan membuat rancang bangun 3D CAD untuk dapat melihat bentuk *heat exchanger* yang akan diteliti. Jenis *heat exchanger* yang akan diteliti adalah jenis *double pipe* pipa konsentris. Gambar 4 menunjukkan rancang bangun *double pipe* pipa konsentris yang akan disimulasikan perpindahan panasnya.



Gambar 4. Rancang bangun *heat exchanger double pipe* pipa konsentris yang akan disimulasikan

B. Sampel Penelitian

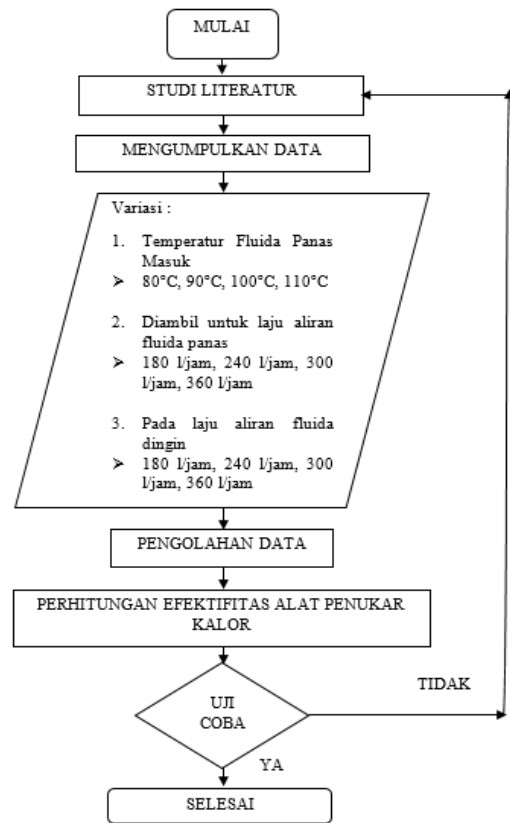
Sampel penelitian analisis keefektifan *heat exchanger* dengan variasi laju aliran ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Variasi Sampel Penelitian

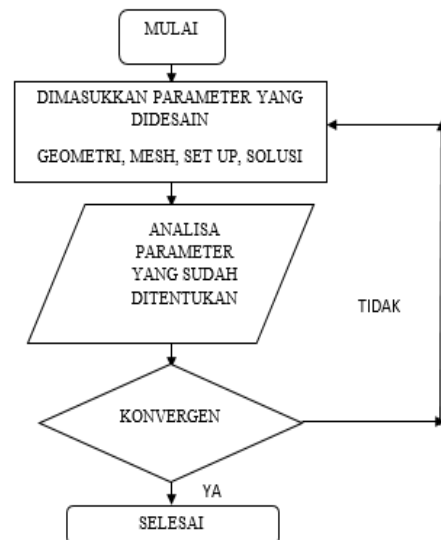
Kondisi	Laju aliran fluida panas (l/j)	Suhu Masuk fluida Panas (°C)	Laju aliran fluida dingin (l/j)	Suhu Masuk fluida Dingin (°C)
1	180			
2	240			
3	300	80	240	20
4	360			
5	180			
6	240	90	240	20
7	300			
8	360			
9	180			
10	240	100	240	20
11	300			
12	360			
13	180			
14	240	110	240	20
15	300			
16	360			

C. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir proses penelitian untuk metode perhitungan dan metode simulasi ditunjukkan pada gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Diagram alir perhitungan



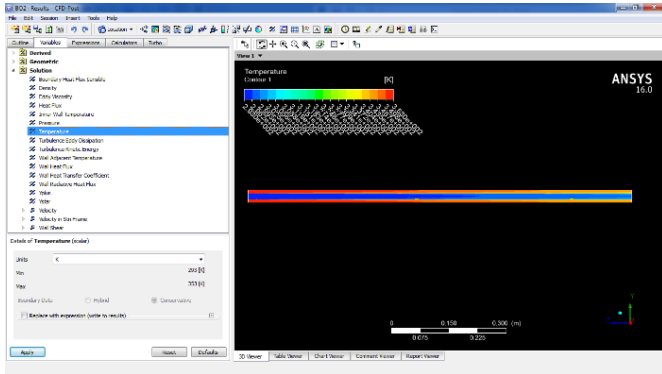
Gambar 6. Diagram alir simulasi

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan keefektifan alat penukar kalor secara teoritis digunakan metode iterasi. Sedangkan simulasi menggunakan *software* Ansys Fluent 16.0.

A. Hasil Simulasi Heat Exchanger

Setelah rancang bangun *heat exchanger* ini selesai, maka selanjutnya keluaran proses rancang bangun diinput ke *software* Ansys Fluent 16.0, dimana akan disimulasikan perpindahan panasnya. Hasil simulasi *heat exchanger* pipa konsentris menggunakan *software* Ansys Fluent 16.0 ditunjukkan pada gambar 7.



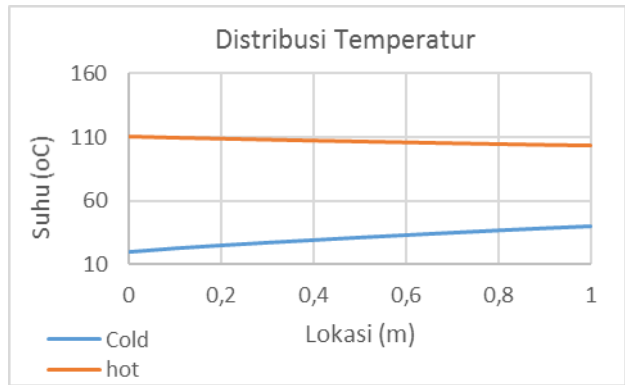
Gambar 7. Hasil simulasi *heat exchanger* pipa konsentris

Pada hasil simulasi yang ditunjukkan pada gambar 7, terlihat distribusi temperatur antara fluida dingin (amoniak) pada pipa bagian dalam dan fluida panas (air) pada pipa bagian luar. Tabel 4 dan gambar 8 menunjukkan data serta grafik distribusi temperatur yang didapatkan dari hasil simulasi.

Tabel 4. Distribusi temperatur perpindahan panas pada *heat exchanger*

Temperatur	Jarak (m)	Suhu Pipa Dalam cold (°C)	Suhu Pipa Luar hot (°C)
T1 (inlet)	0	20	110
T2	0,1	22,844	109,082
T3	0,2	25,238	108,373
T4	0,3	27,354	107,639
T5	0,4	29,413	106,923
T6	0,5	31,399	106,231
T7	0,6	33,312	105,562
T8	0,7	35,158	104,916
T9	0,8	36,94	104,293
T10	0,9	38,659	103,691
T11 (outlet)	1	40,221	103,143

Pipa bagian dalam yang merupakan fluida dingin (amoniak) bertemperatur awal masuk 20°C dan pada pipa bagian luar merupakan fluida panas (air) yang bertemperatur awal masuk 110 °C. Disinilah terjadi perpindahan panas yang mengakibatkan temperatur untuk pipa bagian dalam (amoniak) meningkat dan temperatur untuk pipa bagian luar (air) menurun. Grafik distribusi temperatur perpindahan panas sesuai dengan tabel 4 ditunjukkan pada gambar 8.

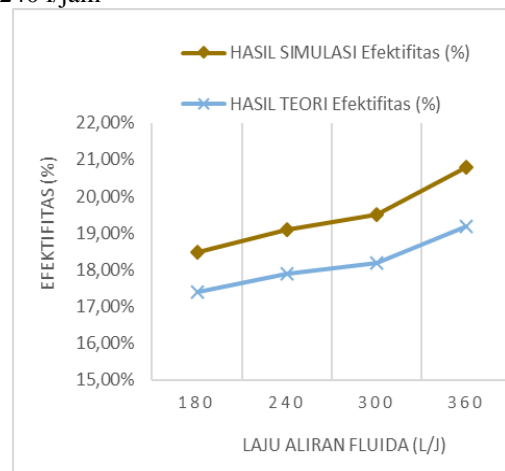


Gambar 8. Grafik distribusi temperatur perpindahan panas

B. Grafik hasil perhitungan dan simulasi

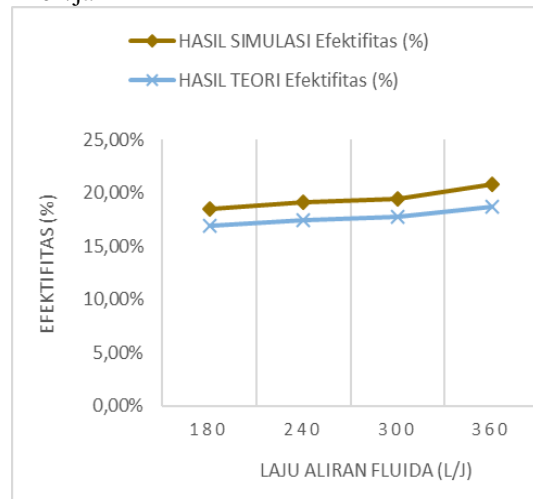
Hasil dari perhitungan dan simulasi ditunjukkan pada gambar 9, 10, 11, dan 12:

1. Grafik efektivitas aliran fluida panas masuk 180, 240, 300, dan 360 l/jam, serta aliran fluida dingin 240 l/jam



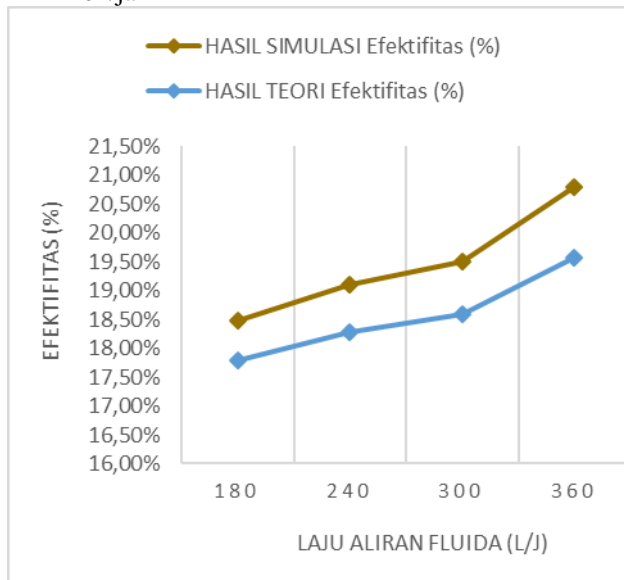
Gambar 9. Grafik efektivitas teori dan simulasi dengan suhu masuk fluida panas 80 °C

2. Grafik efektivitas aliran fluida panas masuk 180, 240, 300, dan 360 l/jam, serta aliran fluida dingin 240 l/jam



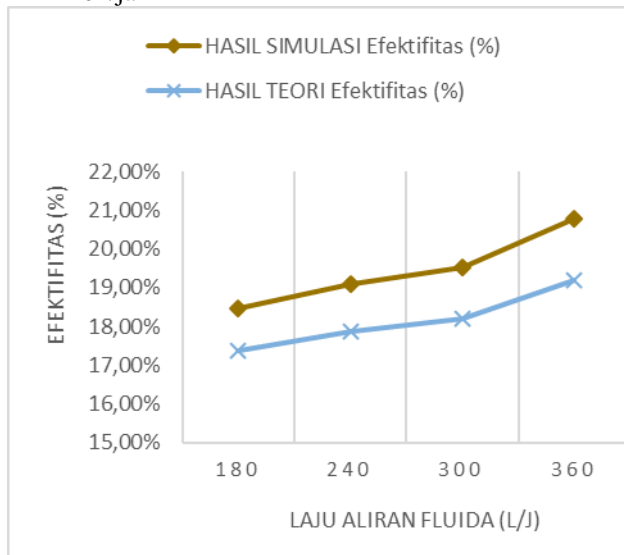
Gambar 10. Grafik efektivitas teori dan simulasi dengan suhu masuk fluida panas 90 °C

3. Grafik efektivitas aliran fluida panas masuk 180, 240, 300, dan 360 l/jam, serta aliran fluida dingin 240 l/jam



Gambar 11. Grafik efektivitas teori dan simulasi dengan suhu masuk fluida panas 100 °C

4. Grafik efektivitas aliran fluida panas masuk 180, 240, 300, dan 360 l/jam, serta aliran fluida dingin 240 l/jam



Gambar 12. Grafik efektivitas teori dan simulasi dengan suhu masuk fluida panas 110 °C

V. KESIMPULAN

Semua grafik hasil penelitian baik dari perhitungan sesuai teori maupun dari simulasi menunjukkan peningkatan efektivitas untuk peningkatan laju aliran.

REFERENSI

- [1] Sadik Kakac and Hongtan Liu, *Heat Exchanger: Selection, Rating and Thermal Design* (2nd ed.). CRC Press. ISBN 0-8493-0902-6. 2002.
- [2] Cengel, Yunus A., *Heat Transfer A Practical Approach, Second Edition*. Mc Graw-Hill, Book Company, Inc: Singapore. 2003.

- [3] Nicolas Titahelu, Analisis pengaruh kecepatan fluida panas aliran searah terhadap karakteristik heat exchanger shell and tube, *Jurnal TEKNOLOGI*, vol. 5 no. 2, 2010: 819-824.
- [4] Hady Gunawan, Analisis dan simulasi keefektifan alat penukar kalor tabung sepusat aliran sejajar dengan variasi kapasitas aliran, *Skripsi sarjana*, Universitas Sumatera Utara, Sumatera Utara, 2015.