

Analisis Efisiensi dan Efektifitas Laju Perpindahan Panas pada Alat *Heat Exchanger* tipe *Double Pipe* dengan Aliran Searah

Angga Bahri Pratama^{1*}, Al Qadry², Jandri Fan HT Saragi³, Eka Putra Dairi Boangmanalu⁴, Franklin Taruyun Hudeardo Sinaga⁵, Kadriadi⁶

¹⁾. Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan

^{2,3,4,5)}. Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan

⁶⁾. Program Studi Teknik Perawatan Mesin, Politeknik Industri Logam Morowali

*Email: anggabahri@polmed.ac.id

ABSTRACT

Double pipe heat exchangers have been widely used in various fields, one of which is in the industrial. The design of this heat exchanger has undergone many changes and modifications. This aims to get efficiency and effectiveness so that it can achieve maximum work on the tool. The focus of this research is to calculate and analyze the efficiency and effectiveness of the rate of heat transfer in a double pipe type heat exchanger with unidirectional flow. The data collection method was direct observation of the device, with an interval of two minutes for each test. The results of this study indicate that the effect of time variation on $V_h = \pm 700$ l/h, $V_c = \pm 500$ l/h fixed on the double pipe type, it can be concluded, at 2 minutes with $V_h = \pm 700$ l/h, efficiency is obtained 1.46% and effectiveness = 0.476. The longer the time in data retrieval, the efficiency increases. This can be seen in the table of research results, at 8 minutes $V_h = \pm 700$ l/h, efficiency = 1.478% and effectiveness = 0.919.

Keywords: Efficiency, effectiveness, rate of heat transfer, heat exchanger, double pipe

1. PENDAHULUAN

Peralatan pemindah panas (*heat exchanger*) memiliki aplikasi yang luas dalam perindustrian. Peralatan ini memiliki beragam jenis. Salah satu peralatan pemindah panas yang sederhana adalah jenis *double pipe*. Pada *heat exchanger* beberapa parameter yang menjadi pertimbangan dalam kinerja sistem adalah temperatur masuk dan keluar sistem, laju aliran fluida panas dan dingin serta besarnya penurunan tekanan. Beberapa hal teknis yang menjadi dasar pertimbangan adalah unjuk kerja, karakteristik operasional serta kemudahan perawatan *heat exchanger*. *Heat exchanger* merupakan peralatan yang digunakan untuk perpindahan panas antara dua atau lebih fluida. Banyak jenis *heat exchanger* yang dibuat dan digunakan dalam pusat pembangkit tenaga, unit pendingin, unit pengkondisi udara, proses di industri, sistem turbin gas, dll. Dalam *heat exchanger* tidak terjadi pencampuran seperti halnya dalam suatu mixing chamber. Dalam radiator mobil misalnya, panas berpindah dari air yang panas yang mengalir dalam pipa radiator ke udara yang mengalir dengan bantuan kipas. Menurut Cengel (1997), hampir pada semua *heat exchanger*, perpindahan panas didominasi oleh konveksi dan konduksi dari fluida panas ke fluida dingin, dimana keduanya dipisahkan oleh dinding [1]. Diantara semua jenis *heat exchanger*, *double pipe heat exchanger* adalah yang paling sederhana dalam hal desain, dapat dioperasikan pada tekanan dan temperatur medium serta mudah dalam perawatannya. Cara kerja *heat exchanger type double pipe* adalah dengan menggunakan fluida panas untuk pipa yang besar dan fluida yang dingin menggunakan pipa kecil yang didorong menggunakan pompa, sehingga setelah bersinggungan akan menghasilkan perbedaan temperatur dan suhu [2].

Salah satu penunjang keberhasilan dalam mencapai jumlah unit maksimal / kapasitas produksi dalam jangka waktu tertentu yaitu dengan meningkatkan efisiensi dari alat atau mesin produksinya. Upaya untuk meningkatkan efisiensi sesuai dengan fungsi kerja dari alat atau mesin yang digunakan, salah satunya dengan pemilihan design penukar kalor sehingga meminimalisir terjadinya beberapa kendala seperti: laju perpindahan kalor, faktor gesekan, pola aliran fluida kerja, jenis material *heat exchanger*, efektifitas perpindahan kalor, dan juga jenis

heat exchanger. Pemilihan desain yang tepat, biaya operasional harian dan perawatan akan bisa diminimalisir [3].

Dalam permasalahan energi, isu mengenai penggunaan bahan bakar fosil, ketimpangan penggunaan energi dunia, ketersediaan sumber-sumber energi serta efisiensi energi dan emisi rumah kaca menjadi hal yang mendesak untuk diselesaikan. Dalam hal transportasi energi, *heat exchanger* sebagai peralatan yang menangani energi termal banyak digunakan dalam industri perhotelan, perminyakan, pembangkit listrik, petrokimia, pendingin maupun industri lainnya [4].

Umumnya penukar kalor digunakan dalam jangka panjang dan tanpa merubah kondisi operasinya. Untuk itu yang perlu diperhatikan adalah jenis fluida yang bekerja di dalamnya, dimensi yang dibutuhkan, serta bentuk konfigurasinya. Dalam analisis kinerja alat penukar kalor, hukum pertama termodinamika menyatakan bahwa perpindahan kalor rata-rata antara fluida panas sama dengan perpindahan kalor rata-rata pada fluida dingin. Untuk mempermudah analisis penukar kalor diperlukan kombinasi laju aliran massa dengan panas spesifik fluida sehingga menjadi satu kuantitas yang disebut kapasitas panas rata-rata. Untuk itu, tulisan ini bertujuan untuk menganalisis kinerja alat penukar kalor yang digunakan untuk mendinginkan generator, seberapa efektif dan berapa besar laju perpindahan panas yang terjadi antara air dan udara yang akan didinginkan di dalam alat penukar kalor tersebut [5].

Pendekatan dengan cara LMTD

Laju perpindahan kalor dari refrigerant ke air pendingin, dihitung menggunakan persamaan LMTD (Holman, J, 2010)

$$Q = U \times A \times (\Delta T)_{LMTD} \quad (1)$$

$$Tw \frac{1}{2} \left\{ \left[\frac{Th1+Th2}{2} \right] + \left[\frac{Th1+Th2}{2} \right] \right\} \quad (2)$$

$$Q_h = \dot{m} \times C_{ph} \{Th_1 - Th_2\} \quad (3)$$

$$Q_c = \dot{m} \times C_{ph} \{Tc_2 - Tc_1\} \quad (4)$$

$$\text{Untuk mendapatkan } \rho \text{ dan } C_p \text{ dari } Th = \frac{Th1+Th2}{2} \quad (5)$$

Nilai Th bisa ditentukan dari tabel A.9 (Holman, J, 2010).

$Q_{nyata} = Q_{air \text{ panas}} = Q_{air \text{ dingin}}$

Setelah semua perhitungan di atas selesai, maka langkah selanjutnya adalah mencari efisiensi.

$$\eta = \frac{Q_c}{Q_h} = \frac{Q_{dingin}}{Q_{panas}} \quad (6)$$

Menurut Incropera dan Dewitt (1981), efektivitas suatu *heat exchanger* didefinisikan sebagai perbandingan antara perpindahan panas yang diharapkan (nyata) dengan perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi dalam *heat exchanger* tersebut.

$$\epsilon = \frac{\text{Perpindahan panas yang diharapkan}}{\text{Perpindahan panas maksimum yang mungkin}} \quad (7)$$

Perpindahan panas yang diharapkan dalam penelitian ini adalah perpindahan panas yang diterima udara dingin:

$$Q_{udara \text{ dingin}} = (\dot{m} \cdot c_p)_{udara \text{ dingin}} (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (8)$$

Sedangkan perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi dalam *heat exchanger* ditentukan sebagai berikut:

Jika $(m \cdot cp)_{\text{udara dingin}} > (m \cdot cp)_{\text{udara panas}}$, maka $Q_{\max} = (m \cdot cp)_{\text{udara panas}} (T_{h,i} - T_{c,i})$

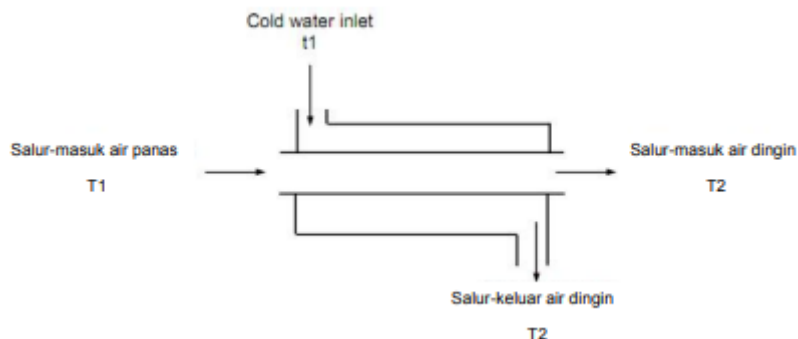
Jika $(m \cdot cp)_{\text{udara dingin}} < (m \cdot cp)_{\text{udara panas}}$, maka $Q_{\max} = (m \cdot cp)_{\text{udara dingin}} (T_{h,i} - T_{c,i})$

Perpindahan panas maksimum terjadi bila salah satu fluida mengalami perbedaan suhu sebesar beda suhu maksimum yang terdapat dalam *heat exchanger* tersebut, yaitu selisih antara suhu masuk fluida panas dan fluida dingin. Fluida yang mungkin mengalami perbedaan suhu maksimum ini ialah fluida yang mempunyai nilai kapasitas panas ($m \cdot cp$) minimum.

Dengan demikian efektivitas *heat exchanger* dalam penelitian ini adalah:

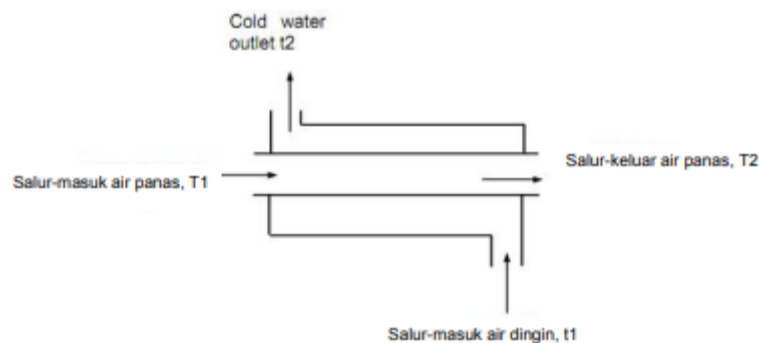
$$\dot{a} = \frac{(m \cdot cp)_{\text{udara dingin}} (T_{c,o} - T_{c,i})}{(m \cdot cp)_{\min} (T_{h,i} - T_{c,i})} \quad (9)$$

Zalir dapat bersikulasi dalam dua cara yang berbeda, yaitu pada arah yang sama dan yang berlawanan [pedoman pignat].



Gambar 1. Skema aliran pada arah yang sama

Pada gambar 1 di atas, arah aliran untuk air dingin sama dengan arah aliran masuk air panas. Zalir dingin masuk pada suhu $t1$ dan keluar dengan suhu $t2$. Gambar di atas juga menunjukkan bahwa zalir panas masuk pada suhu $T1$ dan keluar dengan suhu $T2$.



Gambar 2. Skema aliran pada arah yang berlawanan

Gambar 2 di atas menunjukkan bahwa, zalir panas memasuki penukar panas pada suhu $T1$ dan keluar pada suhu $T2$, sedangkan zalir dingin masuk pada suhu $t1$ dan keluar pada suhu $t2$. Perbedaan suhu diantara zalir-zalir, tetap konstan sepanjang alat penukar kalor. Lebih jauh lagi, suhu pada saluran keluar untuk zalir panas, dapat lebih rendah daripada suhu di saluran keluar zalir dingin.

Pada penelitian ini, laju aliran massa udara panas dibuat sama dengan laju aliran massa udara dingin. Hal ini dilakukan untuk menghilangkan pengaruh laju aliran massa dalam perpindahan panas antara udara panas dan udara dingin, mengingat panas jenis (cp) udara panas hampir sama

dengan panas jenis udara dingin. Ketika laju aliran massa keduanya dibuat sama, maka kenaikan atau penurunan suhu benar-benar disebabkan perpindahan panas di antaranya. Pada studi perhitungan ini, digunakan untuk mengetahui efisiensi dan efektifitas agar memiliki kinerja yang baik sehingga diperoleh hasil yang maksimal dari alat penukar kalor pada alat penukar kalor tipe *double pipe* dengan fluida panas dan fluida dingin berupa air. [intan]

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium ELDA, Politeknik Negeri Medan. Adapun alat yang digunakan pada penelitian adalah *Heat exchangers Pignat* model BME/4000 dengan dimensi L (165 cm), P (90 cm), H (190 cm).

2.1. Proses Pengambilan Data

Adapun proses pengambilan data adalah sebagai berikut:

- Hal pertama yang dilakukan adalah memeriksa kondisi mesin dan lingkungan disekitarnya.
- Membuka katup supplay air (sumber air).
- Buka katup supply air yang berada di mesin.
- Pada penelitian ini menggunakan tipe *double pipe*, maka buka katup EXCH1 disisi kanan dan kiri secara bersamaan
- Hidupkan panel/layer, kemudian atur ke tampilan untuk pengambilan data EXCH1.
- Hidupkan pompa untuk menaikkan temperatur dan mendistribusikan air ke mesin dengan cara memutar *switch on* dan tekan tombol *play*.
- Tekan tombol berbentuk logo api untuk menaikkan temperatur air hingga $\pm 50^{\circ}\text{C}$.
- Setelah temperatur air sudah mencapai $\pm 50^{\circ}\text{C}$, buka katup V3 (supply air panar) untuk penukar EXCH1.
- Atur Q_h (*hot water flow*) menjadi 700 l/h dan Q_c (*cold water flow*) menjadi 600 l/h.
- Setelah itu atur arah aliran air menjadi searah.
- Biarkan mesin beroperasi ± 5 menit.



Gambar 3. *Heat exchangers Pignat* model BME/4000

- Ambil data yang tertera pada layar selama selang waktu yang sudah ditentukan (2 menit).
- Apabila pengambilan data selesai, matikan pompa dengan menekan tombol berlogo api terlebih dahulu, sampai suhu yang terbaca di pompa $\pm 30^{\circ}\text{C}$.
- Setelah mencapai suhu tersebut, pompa dimatikan sembari menutup katup-katup yang dibuka pada saat langkah awal pengambilan data.
- Matikan layar pada mesin serta sumber arus, dan proses pengambilan data selesai.

2.2. Alat dan bahan

• Alat

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini, adalah sebagai berikut:

- *Heat exchanger* pignat model BME/4000
- Thermo bath (sumber air panas)
- Pompa
- Stopwatch

• Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Fluida (air)

2.3. Metode pengambilan data

Tabel 1. Form untuk data hasil penelitian

Percobaan	$\pm V_h$ (l/h)	Thin ($^{\circ}\text{C}$)	Thout ($^{\circ}\text{C}$)	$\pm V_c$ (l/h)	Tcin ($^{\circ}\text{C}$)	Tcout ($^{\circ}\text{C}$)
1						
2						
3						

Tabel di atas adalah form untuk pengisian hasil penelitian yang dikerjakan. Adapun langkah-langkah dalam proses pengambilan data adalah sebagai berikut:

- Pada penelitian ini, dilakukan tiga kali percobaan.
- Data yang diambil adalah V_h , V_c , Thin, Thout, Tcin dan Tcout.
- Selang waktu pengambilan data untuk masing-masing percobaan adalah 2 menit.
- Sebelum mengambil data yang ditunjukkan di layar, fluida yang ada di mesin, dibiarkan mengalir ± 5 menit yang dibantu dengan pompa.
- Setelah mencapai waktu dan suhu kerja, maka data penelitian bisa dicatat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil

Data hasil pengujian laju perpindahan panas pada alat *heat exchanger* tipe *double pipe* dengan aliran searah dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. Data hasil penelitian

Percobaan	$\pm V_h$ (l/h)	Thin ($^{\circ}\text{C}$)	Thout ($^{\circ}\text{C}$)	$\pm V_c$ (l/h)	Tcin ($^{\circ}\text{C}$)	Tcout ($^{\circ}\text{C}$)
1	700	46.2	41.0	600	27.7	36.5
2	700	46.5	41.3	600	27.8	36.7
3	700	46.8	41.5	600	27.8	36.9

Berdasarkan tabel di atas dan gambar 4, 5 dan 6, bisa dilihat kecenderungan data Thin berbanding lurus dengan lamanya waktu pengambilan data. Pada percobaan pertama, temperatur yang dideteksi oleh sensor TT1 adalah 46.2°C . Berdasarkan buku panduan penggunaan *Heat exchanger Pignat*, TT1 merupakan sensor untuk mendeteksi temperatur air panas yang masuk ke dalam sistem. Temperatur pada Thout percobaan pertama, terbaca 41.0°C . Hasil ini dideteksi oleh sensor dengan kode TT2. Untuk aliran air dingin, pembacaan temperaturnya terdapat pada sensor dengan kode TT3 dan TT4. TT3 membaca temperatur air dingin yang masuk kedalam sistem, sedangkan pada TT4 merupakan sensor yang membaca temperatur air dingin yang keluar dari sistem.



Gambar 4. Data percobaan 1



Gambar 5. Data percobaan 2



Gambar 6. Data percobaan 3

Pada percobaan ketiga, selang waktu yang semakin lama, juga berpengaruh terhadap temperatur yang dihasilkan. Thin yang terbaca pada percobaan ketiga naik menjadi 46.2 °C dan 41.5 °C untuk Thout. Hal ini juga berlaku untuk Tcin dan Tcout.

3.2. Pembahasan

Percobaan 1

- **Temperatur rata-rata air panas**

$$Th = \frac{Th1+Th2}{2} = \frac{46.2+41}{2} = 36.6$$

Untuk percobaan kedua, ketiga, dan keempat. Dengan rumus dan perhitungan yang sama didapatkan hasil sebagai berikut:

- Percobaan kedua = 43.8
- Percobaan ketiga = 43.9
- Percobaan keempat = 44.15

- **Menghitung Cp Air Panas (menggunakan interpolasi)**

$$\begin{aligned} Cp &= \frac{43.6-43.33}{48.89-43.33} = \{4.174 - 4.174\} + 4.174 \\ &= 0.04856 \times \{0\} + 4.174 \\ &= 4.174 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Untuk percobaan kedua, ketiga, dan keempat. Dengan rumus dan perhitungan yang sama didapatkan hasil sebagai berikut:

- Percobaan kedua = 4.174
- Percobaan ketiga = 4.174
- Percobaan keempat = 4.174

- **Laju aliran air panas (Qh)**

$$\dot{m}h = \rho \times Qh = 997 \text{ kg/m}^3 \times 1.94 \times 10^{-3} = 0.1934$$

$$\begin{aligned} Qh &= \dot{m} \times Cph \{Th_1 - Th_2\} \\ &= 0.1934 \times 4.174 \times \{46.2 - 41\} \\ &= 0.807 \times 5.2 \\ &= 4.197 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Untuk percobaan kedua, ketiga, dan keempat. Dengan rumus dan perhitungan yang sama didapatkan hasil sebagai berikut:

- Percobaan kedua = 4.1964
- Percobaan ketiga = 4.1964
- Percobaan keempat = 4.2771

- **Temperatur rata-rata air dingin**

$$T_h = \frac{T_{c1} + T_{c2}}{2} = \frac{27.7 + 36.5}{2} = 32.1$$

Untuk percobaan kedua, ketiga, dan keempat. Dengan rumus dan perhitungan yang sama didapatkan hasil sebagai berikut:

- Percobaan kedua = 32.2
- Percobaan ketiga = 32.25
- Percobaan keempat = 32.35

- **Menghitung Cp Air Dingin (menggunakan interpolasi)**

$$\begin{aligned} C_p &= \frac{32.1 - 26.67}{32.22 - 26.67} = \{4.174 - 4.179\} + 4.179 \\ &= 0.978 \times \{-0.005\} + 4.179 \\ &= 4.1741 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Untuk percobaan kedua, ketiga, dan keempat. Dengan rumus dan perhitungan yang sama didapatkan hasil sebagai berikut:

- Percobaan kedua = 4.174
- Percobaan ketiga = 4.174
- Percobaan keempat = 4.174

- **Laju aliran air dingin (Qc)**

$$\dot{m}_c = \rho \times Q_c = 997 \text{ kg/m}^3 \times 1.67 \times 10^{-4} = 0.1665$$

$$\begin{aligned} Q_c &= \dot{m} \times C_{pc} \{T_{c1} - T_{c2}\} \\ &= 0.1665 \times 4.1741 \times \{36.5 - 27.7\} \\ &= 0.69499 \times 8.8 \\ &= 6.1159 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Untuk percobaan kedua, ketiga, dan keempat. Dengan rumus dan perhitungan yang sama didapatkan hasil sebagai berikut:

- Percobaan kedua = 6.1157
- Percobaan ketiga = 6.185
- Percobaan keempat = 6.3423

- **Efisiensi**

$$\eta = \frac{Q_c}{Q_h} = \frac{Q_{dingin}}{Q_{panas}} = \frac{6.1159}{4.197} = 1.46$$

- Efektifitas

$$\varepsilon = \frac{Q_{nyata}}{Q_{maks}} = \frac{T_{c2}-T_{c1}}{T_{h1}-T_{h2}} = \frac{36.5-27.7}{46.2-27.7} = 0.4757$$

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini, yaitu menganalisis efisiensi dan efektifitas laju perpindahan panas telah berhasil dihitung dan dianalisa. Setelah dilakukan penelitian dan Analisa, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengaruh variasi waktu terhadap $V_h = \pm 700$ l/h, $V_c = \pm 500$ l/h yang dibuat tetap pada tipe *double pipe*, dapat disimpulkan, pada waktu 2 menit dengan $V_h = \pm 700$ l/h, didapatkan efisiensi 1.46% dan efektifitas = 0.476. Semakin lama waktu dalam pengambilan data, maka efisiensi semakin meningkat. Hal ini bisa dilihat pada tabel hasil penelitian, pada waktu 8 menit $V_h = \pm 700$ l/h, didapatkan efisiensi = 1.478% dan efektifitas = 0.919.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada pihak-pihak yang sudah terlibat pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Handoyo, E.A, "Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Efektivitas Shell-and-Tube Heat Exchanger," in JURNAL TEKNIK MESIN Vol. 2, No. 2, Oktober 2000: 86 – 90.
- [2] Harini, "Analisis Perhitungan Laju Perpindahan Panas Alat Penukar Kalor Type Pipa Ganda Di Laboratorium Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta," Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur UNJ, Edisi terbit II– Oktober 2017.
- [3] I. M. Ainursyiam and N. Hendrawati, "Studi Perhitungan Heat Exchanger Tipe Double Pipe Sebelum Reaktor Pada Pra-Rancangan Pabrik Kimia Cucumber Soap Kapasitas Produksi 6.300 Ton/Tahun," Distilat. 2022, 8 (2), 367-376.
- [4] Putu. W. S, Daud. S. A, and Wayan. G. S, "Efektifitas Perpindahan Panas Pada Double Pipe Heat Exchanger Dengan Groove," *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV)*, Banjarmasin, 7-8 Oktober 2015.
- [5] Anwar, Khairil, "Efektivitas Alat Penukar Kalor Pada Sistem Pendingin Generator PLTA," in "MEKTEK" Tahun XIII No. 3, September 2011.
- [6] Rue Calmette BP, Pignat; *Heat Exchanger*. MP-21311186. Prancis : GENAS cedex Prancis, 2014.