

BAB IV

HASIL DAN ANALISA

4.1 HASIL PENGUJIAN STEADY SISTEM CASCADE

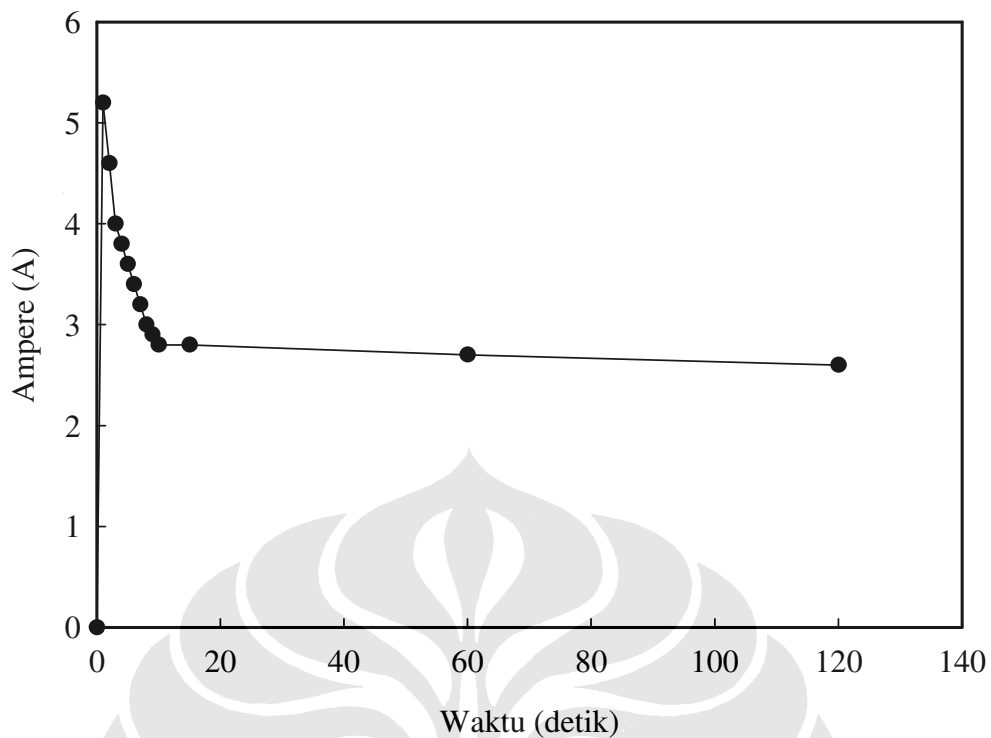
Dalam proses pengujian pada saat menyalakan sistem untuk pertama kali, diperlukan waktu oleh sistem supaya dapat bekerja dengan stabil. Data yang diambil saat kondisi sistem belum stabil berarti belum valid karena masih mungkin terjadi perubahan yang cukup besar. Saat sistem dinyatakan stabil adalah ketika angka yang ditunjukkan pada alat ukur, yakni tekanan dan temperatur tidak berubah atau hanya sedikit mengalami perubahan yang masih dapat ditoleransi. Pada saat sistem dalam kondisi mati, tekanan pada *suction line* dan *discharge line* kompresor menjadi kurang lebih sama.

Percobaan untuk mengetahui waktu *steady* ini dilakukan pada sistem HS dengan menggunakan R22 terlebih dulu, karena sesuai prosedur penyalakan sistem *cascade* adalah sistem HS harus terlebih dulu dinyalakan supaya kalor yang dibuang oleh kondenser pada sistem LS dapat diserap oleh evaporator sistem HS.

4.1.1 High-Stage

Dalam proses pengujian saat sistem dinyalakan untuk pertama kali, diperlukan waktu oleh sistem supaya dapat bekerja dengan stabil. Data yang diambil saat kondisi sistem belum stabil berarti belum valid karena masih mungkin terjadi perubahan yang cukup besar. Saat sistem dinyatakan stabil adalah ketika angka yang ditunjukkan pada alat ukur, yakni tekanan dan temperatur tidak berubah atau hanya sedikit mengalami perubahan yang masih dapat ditoleransi. Pada saat sistem dalam kondisi mati, tekanan pada *suction line* dan *discharge line* kompresor menjadi kurang lebih sama.

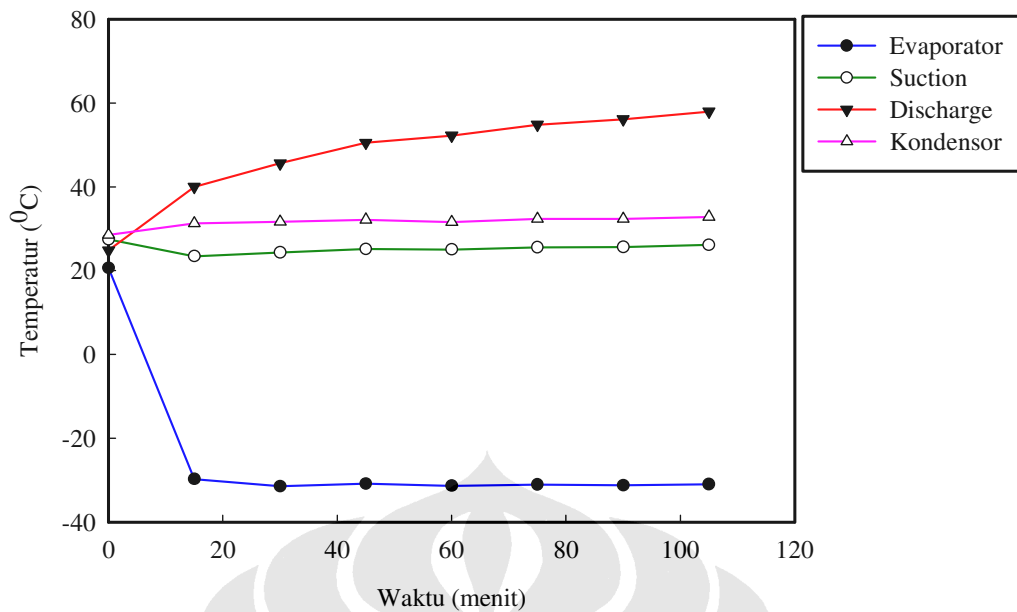
Percobaan untuk mengetahui waktu *steady* ini dilakukan pada sistem HS dengan menggunakan R22 dan LS dengan menggunakan R 404A, keadaan pada saat sistem HS tidak bekerja bertekanan 10,2 bar dan LS bertekanan 11.6 bar dengan temperatur ruang 29°C.



Gambar 4.1 Grafik arus listrik terhadap waktu

Grafik diatas menunjukkan perubahan arus listrik yang diterima kompresor pada saat *start-up* hingga sistem berjalan stabil. Arus listrik mengalami penurunan yang cukup besar hingga 10 detik pertama, setelah itu perlahan-lahan arus listrik mulai cenderung stabil, hingga pada saat sistem sudah berjalan selama 1 menit, arus listrik sudah mengalir secara konstan. Arus listrik menjadi stabil dikarenakan kapasitor di dalam kompresor telah cukup termuati sehingga kapasitor dapat mengalirkan arus listrik secara stabil.

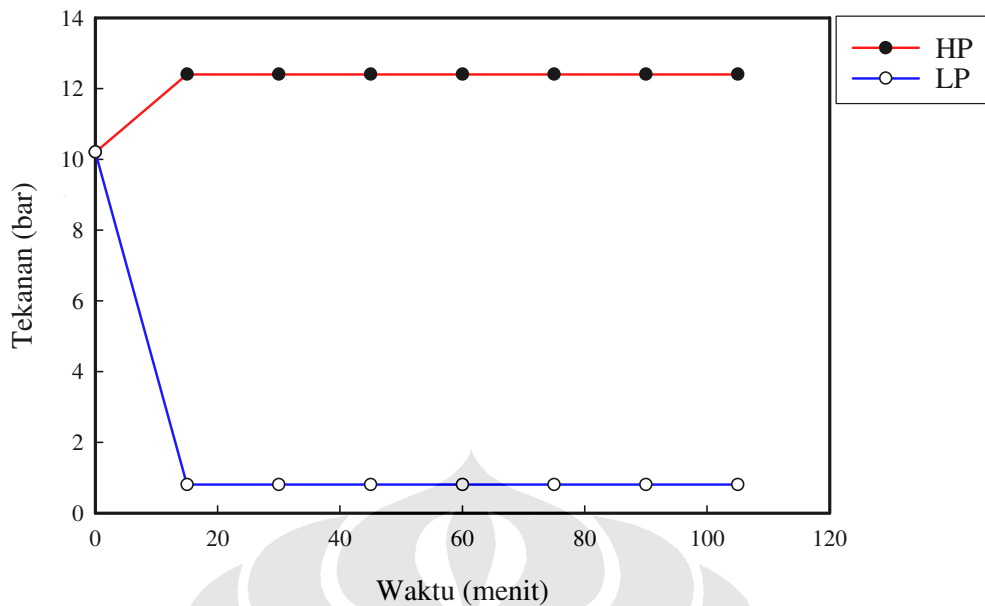
Melonjaknya nilai arus listrik untuk sesaat mengakibatkan tarikan daya listrik yang besar pula untuk sesaat. Selain itu untuk menjaga peralatan dari lonjakan arus listrik yang berlebih diperlukan suatu peralatan pengaman yakni *MCB*.



Gambar 4.2 Grafik temperatur HS terhadap waktu

Gambar 4.2 diatas menunjukkan perubahan temperatur yang diukur pada 4 titik yaitu evaporator, *suction line*, *discharge line* dan kondenser. Berdasarkan grafik diatas, perubahan temperatur terjadi secara signifikan hingga 20 menit pertama sejak sistem dinyalakan. Setelah itu dapat dikatakan sistem cenderung menuju stabil dapat terlihat dari perubahan temperatur yang tidak terlalu besar. Hal ini disebabkan karena untuk menurunkan temperatur evaporator dari temperatur ruang membutuhkan kerja kompresor yang besar dan mengakibatkan kenaikan temperatur pada *discharge line*. Kenaikan temperatur *discharge* berpengaruh terhadap kenaikan temperatur kondenser sedangkan penurunan temperatur evaporator berpengaruh terhadap penurunan temperatur *suction line*.

Setelah mencapai temperatur evaporator maksimum dalam waktu 20 menit maka kerja kompresor mulai menurun. Hal ini dapat terlihat pada temperatur *discharge*, penurunan temperatur *discharge* mengakibatkan penurunan temperatur kondenser dan akhirnya penurunan temperatur *suction*. Pada dasarnya perubahan temperatur diatas merupakan fungsi dari perubahan tekanan seperti yang terdapat pada gambar 4.3

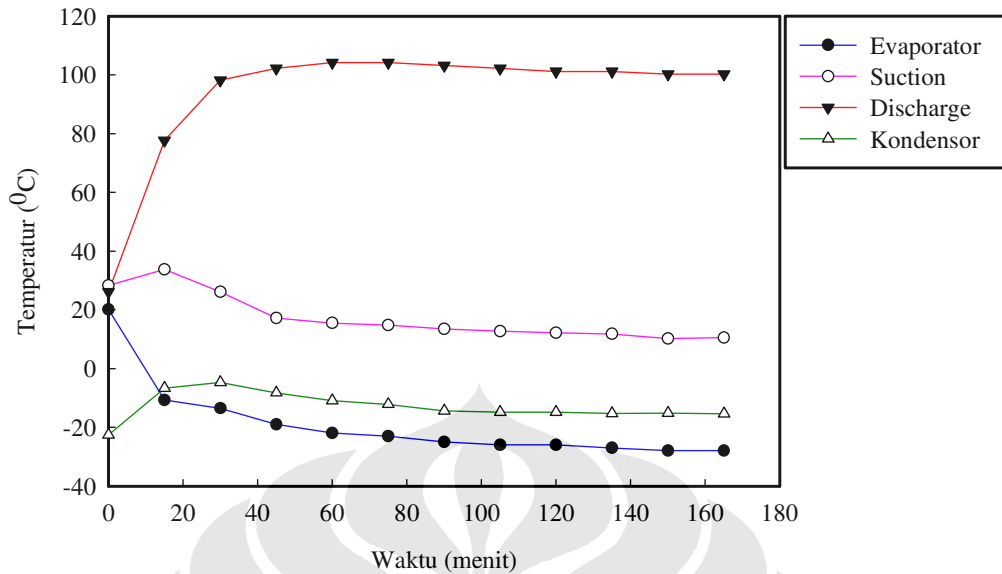


Gambar 4.3 Grafik tekanan HS terhadap waktu

Gambar 4.3 menunjukkan perubahan tekanan pada *suction line* dan *discharge line* dari mulai sistem dinyalakan. Perubahan signifikan terjadi pada 20 menit pertama, setelah itu sistem masih cenderung berubah dengan perubahan yang tidak terlalu besar. Pada dasarnya seperti terlihat pada grafik diatas nilai tekanan sudah mengalami perubahan yang tidak terlalu besar setelah 20 menit, namun bila diperhatikan secara seksama pada grafik 4.2 bahwa setelah menit ke-20 masih terjadi perubahan yang cukup besar khususnya pada temperatur discharge. Tidak terjadinya perubahan yang signifikan pada grafik tekanan disebabkan tingkat keakurasian *pressure gage* yang rendah yakni 0,1.

Pada 20 menit pertama merupakan proses pemompaan dan kompresi refrigeran oleh kompresor keseluruhan bagian sistem pemipaan. Proses penstabilan tekanan ini merupakan gambaran yang mewakili penstabilan temperatur evaporator seperti yang ditunjukkan pada grafik sebelumnya. Berdasarkan hasil ini, maka sistem baru dinyatakan stabil jika sudah berjalan selama kurang lebih 60 menit, setelah rentang waktu sedemikian, data yang diambil dapat dinyatakan valid dan *starting* sistem LS dapat dilakukan.

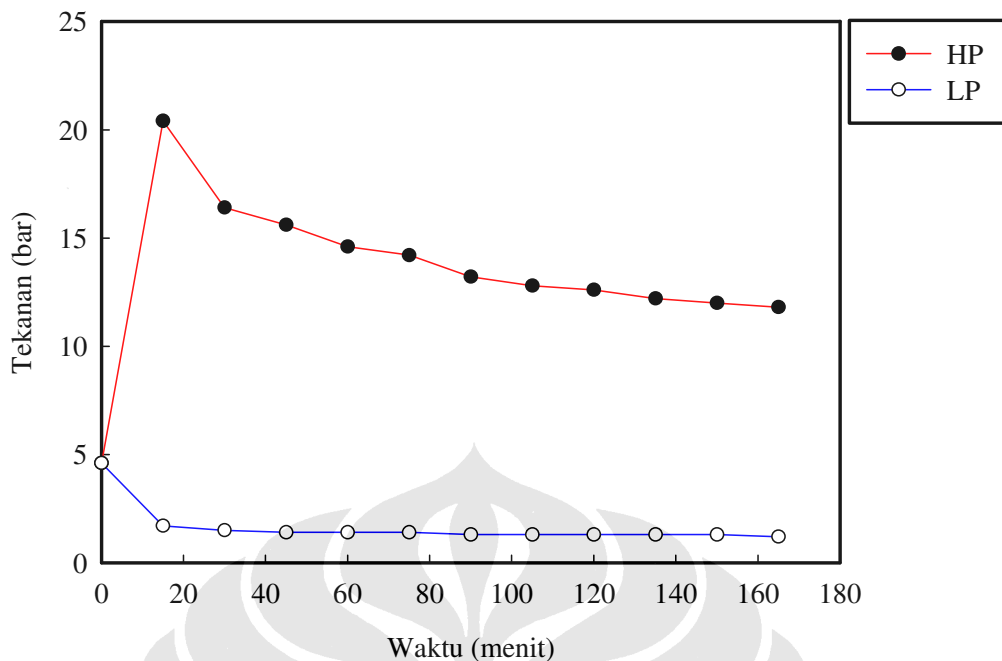
4.1.2 Low-Stage



Gambar 4.4 Grafik temperatur LS terhadap waktu

Seperti halnya proses penstabilan temperatur pada sistem HS, 20 menit pertama merupakan penstabilan tekanan dalam sistem oleh kompresor. Waktu ini merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengkompresi dan memompakan refrigeran keseluruh bagian sistem pemipaan. Setelah waktu ini efek refrigerasi mulai terjadi ditandainya dengan penurunan temperatur evaporator dan *suction*. Proses stabilisasi sistem LS memakan waktu lebih lama dari pada HS hal ini dikarenakan besarnya ukuran *freezer box* yang harus didinginkan dari temperatur ruang sampai temperatur evaporasi cukup besar.

Selanjutnya kecenderungan temperatur pada sistem LS terlihat kurang lebih sama seperti yang terjadi pada sistem HS. Untuk menurunkan temperatur evaporator maka dibutuhkan kerja kompresor yang besar sehingga mengakibatkan temperatur *discharge* meningkat dan kenaikan ini mengakibatkan peningkatan temperatur kondenser dan juga akhirnya peningkatan temperatur *suction*.



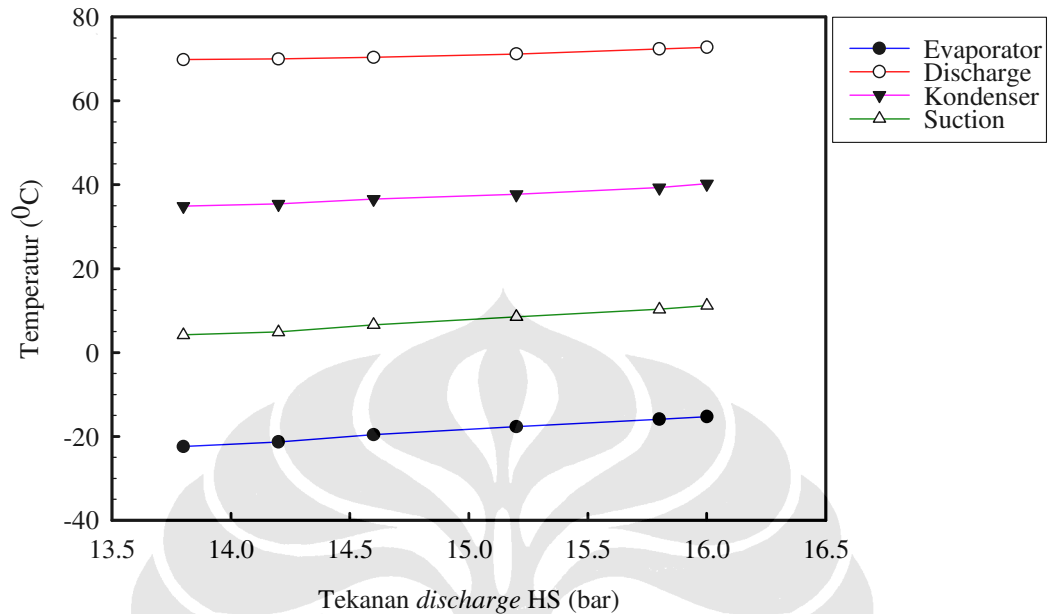
Gambar 4.5 Grafik tekanan LS terhadap waktu

Pada grafik diatas terdapat lonjakan nilai tekanan yang sangat tinggi, hal ini disebabkan karena R404A merupakan campuran refrigeran yang bersifat *nearazeotrope* dimana pada saat sistem tidak bekerja refrigeran sebagian berfase cair dan memiliki tekanan rendah. Kemudian proses *steady* tekanan untuk sistem LS memiliki waktu yang lebih lama dibandingkan dengan sistem HS, hal ini disebabkan oleh panjangnya sistem pemipaan untuk sistem LS. Dari grafik diatas dapat terlihat bahwa setiap proses *starting* awal sistem baik sistem HS maupun sistem LS kompresornya akan mencapai daya maksimum terlebih dahulu dengan waktu yang dibutuhkan sebesar kurang lebih 20 menit.

Selanjutnya tekanan *discharge* dan *suction* perlahan-lahan turun selama kurang lebih 160 menit. Setelah waktu inilah proses variasi tekanan *discharge* pada sistem HS dapat dilakukan karena seluruh parameter sistem yang ada baik untuk sistem HS dan sistem LS tidak mengalami perubahan secara signifikan lagi. Tekanan *discharge* mencapai titik stabil pada tekanan 12 bar dan tekanan *suction* pada 1,4 bar.

4.2 PENGARUH PERUBAHAN TEKANAN *DISCHARGE HIGH-STAGE* TERHADAP TEMPERATUR

4.2.1 *High-Stage*

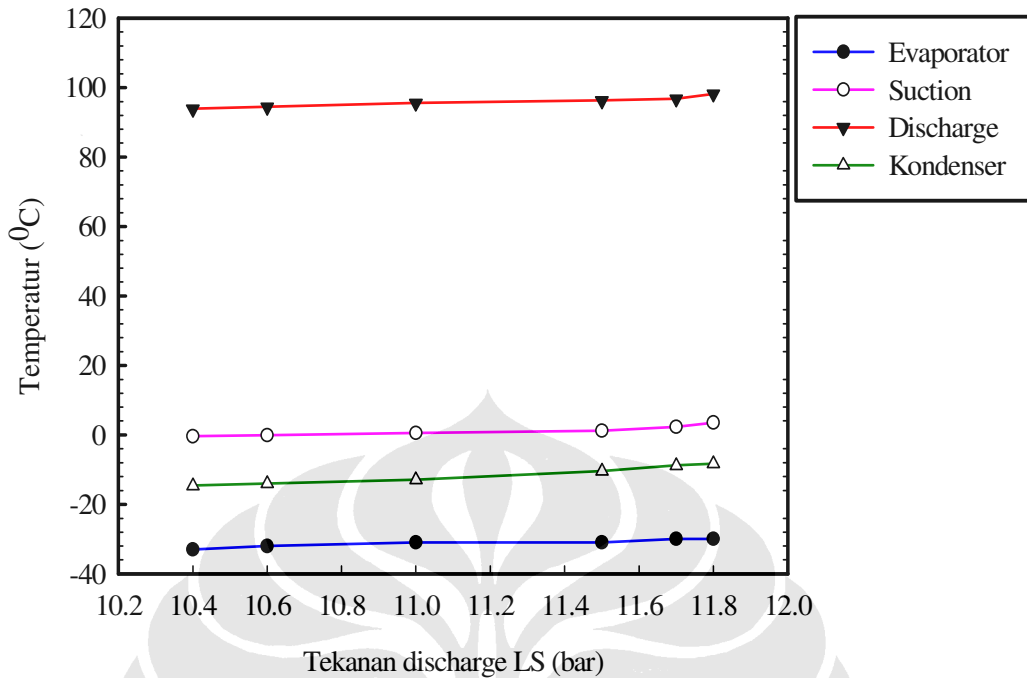


Gambar 4.6 Grafik tekanan discharge HS terhadap temperatur

Pada grafik diatas terdapat kecenderungan temperatur yang sama antara keempat titik pengukuran. Peningkatan tekanan pada *discharge* sistem HS menyebabkan kenaikan temperatur pada sisi *discharge*. Hal ini dikarenakan peningkatan tekanan pada discharge mengakibatkan kenaikan jumlah massa refrigeran yang harus dikompresikan oleh kompresor keseluruhan sistem. Dengan kata lain beban kompresor menjadi bertambah besar sehingga temperatur *discharge* kompresor meningkat. Selanjutnya kenaikan temperatur *discharge* menyebabkan kenaikan temperatur pada kondenser. Naiknya temperatur kondenser akhirnya mengakibatkan kenaikan temperatur dibagian evaporator.

Dari gambar diatas dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar nilai tekanan pada sisi *discharge* akan menyebabkan naiknya temperatur operasi dari keempat titik yang ada. Namun kenaikan temperatur yang terjadi pun tidak terlalu besar dikarenakan kenaikan tekanan yang terjadi pun tidaklah terlalu besar. Hal ini dapat terlihat jelas pada diagram p-h untuk sistem HS.

4.2.2 Low-Stage



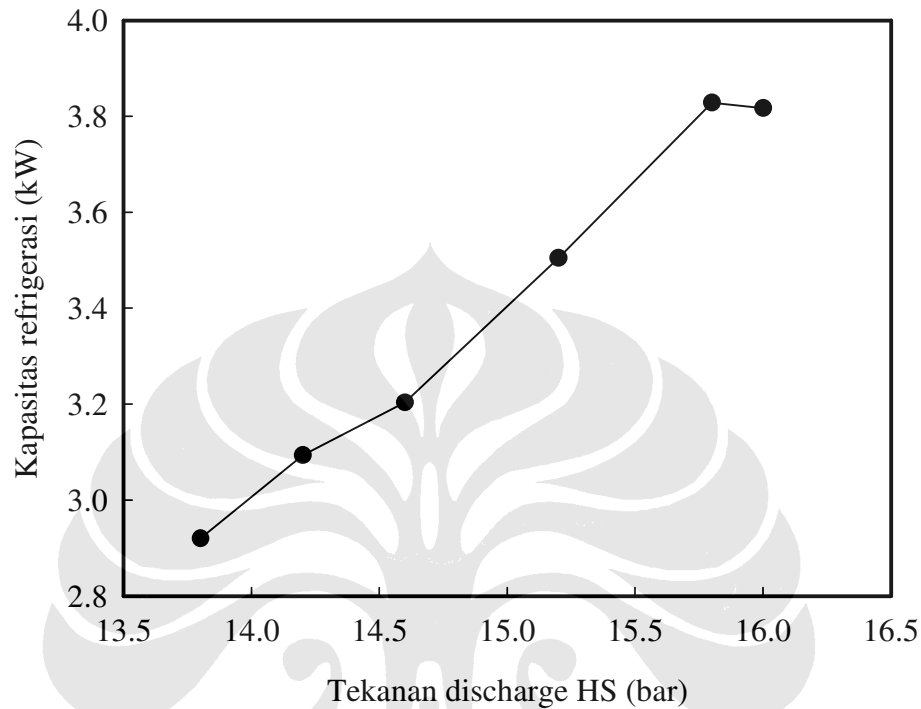
Gambar 4.7 Grafik tekanan discharge LS terhadap temperatur

Pada gambar diatas dapat terlihat bahwa terjadi kenaikan nilai tekanan dan temperatur pada sistem LS. Dari gambar tersebut dapat diambil dua kesimpulan yakni peningkatan tekanan *discharge* pada *high-stage* ternyata menyebabkan kenaikan pada tekanan bagian *discharge* pada LS dan juga menyebabkan kenaikan temperatur pada keempat bagian LS. Ini dikarenakan peningkatan tekanan pada *discharge* HS mengakibatkan perubahan temperatur pada bagian evaporator. Berubahnya nilai temperatur evaporator pada HS mengakibatkan perubahan terhadap besarnya kalor yang diserap evaporator HS dari kondenser LS. Berubahnya nilai temperatur pada bagian kondenser LS mengakibatkan perubahan tekanan pada bagian yang sama. Sehingga perubahan tekanan pada bagian kondenser juga akan mengakibatkan perubahan tekanan pada evaporator, *suction* dan kemudian bagian *discharge*.

Seperti halnya yang terjadi pada sistem HS, peningkatan terhadap tekanan disisi *discharge* LS ternyata mengakibatkan kenaikan temperatur disisi *discharge*. Selanjutnya kenaikan temperatur *discharge* menyebabkan kenaikan temperatur pada kondenser. Naiknya temperatur kondenser akhirnya mengakibatkan kenaikan temperatur dibagian evaporator.

4.3 PENGARUH PERUBAHAN TEKANAN *DISCHARGE HIGH-STAGE* TERHADAP KAPASITAS REFRIGERASI

4.3.1 High-Stage

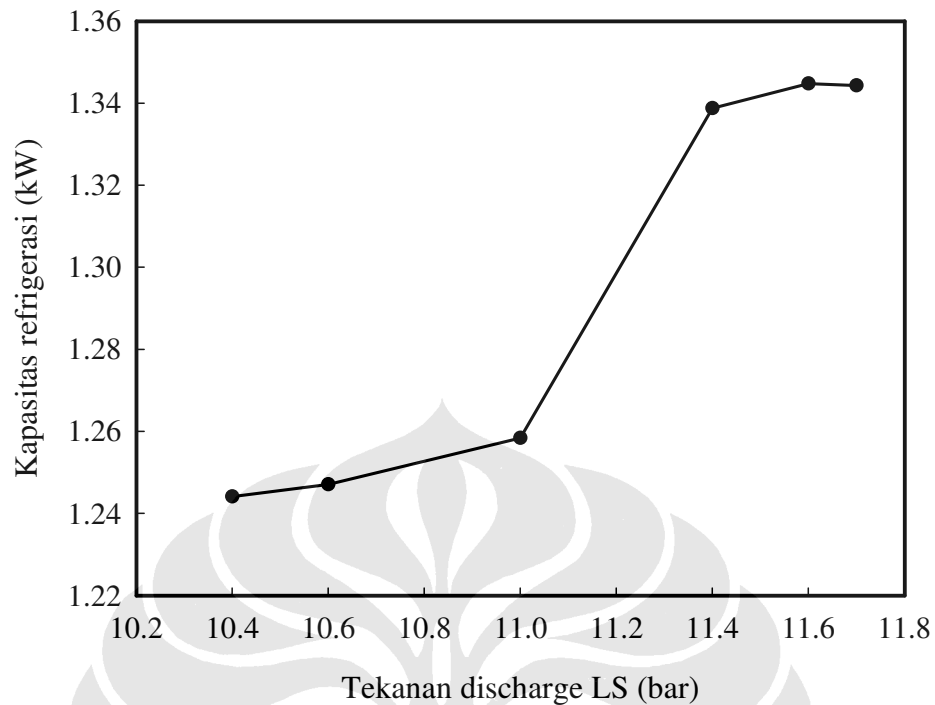


Gambar 4.8 Grafik tekanan *discharge* HS terhadap kapasitas refrigerasi

Kapasitas refrigerasi merupakan fungsi dari aliran massa dan efek refrigerasi. Kenaikan kapasitas refrigerasi ternyata lebih dipengaruhi oleh fungsi laju aliran massa dibandingkan dengan efek refrigerasi. Seperti yang dapat dilihat pada diagram p-h bahwa semakin rendah nilai tekanan maka efek refrigerasi semakin besar namun pada grafik diatas terlihat bahwa kenaikan nilai tekanan justru menghasilkan kenaikan kapasitas refrigerasi.

Pada tekanan 16 bar terjadi penurunan untuk nilai kapasitas refrigerasi hal ini dikarenakan penambahan laju aliran massa yang tidak terlalu besar diikuti dengan penurunan efek refrigerasi yang lebih besar dibanding dengan tekanan pada 15,8 bar.

4.3.2 Low-Stage



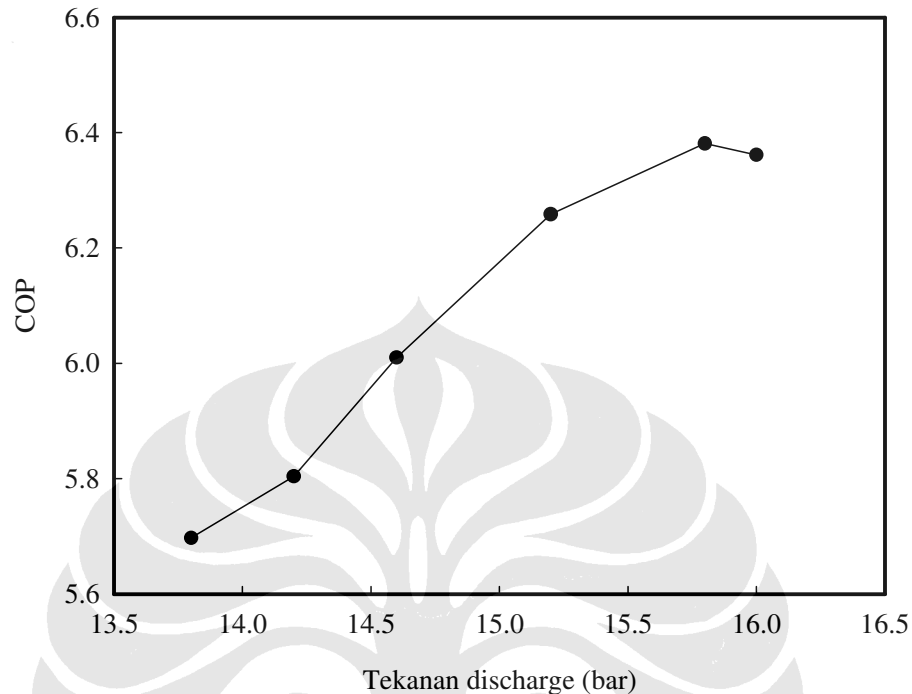
Gambar 4.9 Grafik tekanan *discharge* LS terhadap kapasitas refrigerasi

Dari grafik diatas terlihat kenaikan tekanan *discharge* LS juga menimbulkan kenaikan pada nilai kapasitas refrigerasi. Namun nilai kenaikan kapasitas refrigerasi yang ada sesungguhnya tidak mengalami banyak perubahan hal ini dikarenakan jumlah massa refrigeran yang ada dalam sistem LS pada dasarnya konstan sedangkan laju aliran massanya mengalami sedikit perubahan saja yang disebabkan pengaruh perubahan temperatur evaporator pada sistem HS terhadap temperatur kondenser LS seperti diterangkan sebelumnya.

Pada tekanan 11,7 bar terjadi penurunan untuk nilai kapasitas refrigerasi hal ini dikarenakan penambahan laju aliran massa yang tidak terlalu besar diikuti dengan penurunan efek refrigerasi yang lebih besar dibanding dengan tekanan pada 11,6 bar.

4.4 PENGARUH PERUBAHAN TEKANAN *DISCHARGE HIGH-STAGE* TERHADAP COP

4.4.1 *High-Stage*



Gambar 4.10 Grafik tekanan *discharge* HS terhadap COP

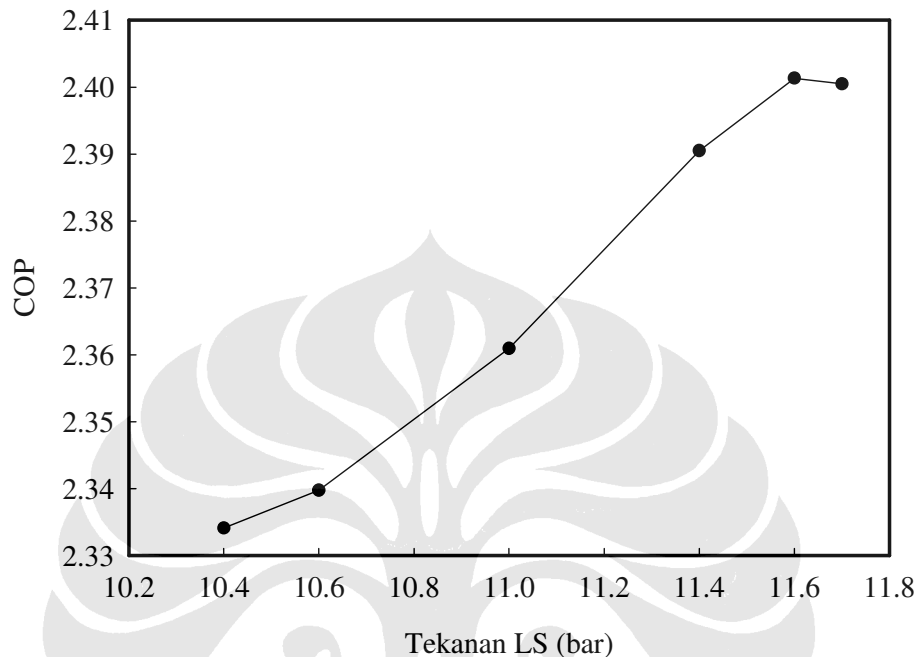
Nilai COP merupakan fungsi dari kapasitas refrigerasi dan kerja kompresor. Grafik diatas menunjukkan bahwa nilai COP akan perlahan meningkat seiring dengan peningkatan nilai tekanan namun pada satu titik tertentu mencapai nilai maksimum dan kemudian perlahan menurun. Nilai maksimum tersebut merupakan nilai kerja yang optimum bagi mesin yang ada.

Peristiwa diatas dikarenakan peningkatan efek refrigerasi pada grafik sebelumnya tidak diikuti dengan peningkatan kerja kompresor. Nilai kerja kompresor pada tekanan 16,2 bar justru mengalami penurunan yang lebih besar dibandingkan peningkatan kapasitas refrigerasi pada tekanan 16 bar. Hal ini dapat terlihat lebih jelas lagi pada diagram p-h.

Diketahuinya nilai COP diatas dapat menjadi suatu pertimbangan bagi konsumen untuk mengoperasikan alat yang ada, apabila ingin melakukan penghematan daya listrik sebaiknya mengoperasikan pada COP tertinggi tetapi bila yang diinginkan adalah nilai temperatur evaporasi untuk menjaga suatu

produk maka sebaiknya dioperasikan pada tekanan terendah yang dapat mencapai nilai temperatur evaporasi paling rendah.

4.4.2 Low-Stage

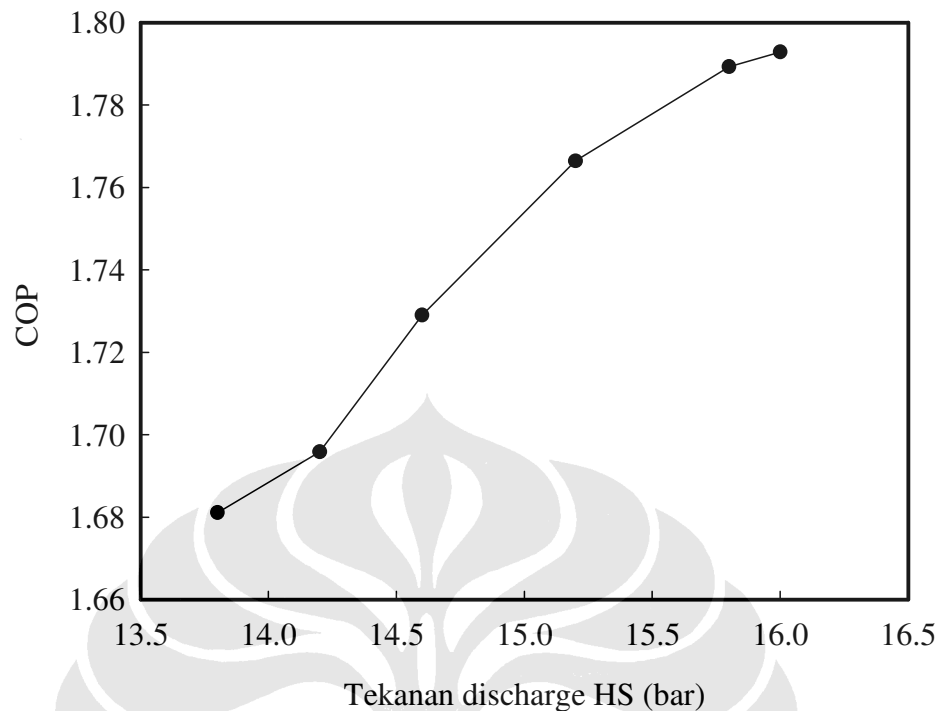


Gambar 4.11 Grafik tekanan *discharge* LS terhadap COP

Grafik diatas memiliki kecenderungan yang sama dengan grafik tekanan *discharge* dengan COP milik HS. Hal ini dikarenakan perubahan tekanan pada HS mengakibatkan kecenderungan perubahan yang sama untuk LS, diantaranya peningkatan tekanan HS mengakibatkan peningkatan tekanan, efek refrigerasi serta penurunan kerja kompresor. Dari pengaruh-pengaruh tersebut menyebabkan adanya suatu titik optimum dimana efek refrigerasi terus meningkat namun memiliki kerja kompresor yang lebih rendah dibandingkan nilai tekanan lainnya.

Kenaikkan nilai COP diatas pada dasarnya juga tidak terlalu besar hal ini dikarenakan kenaikan kapasitas efek refrigerasi pada grafik sebelumnya tidak terlalu besar.

4.4.3 Cascade



Gambar 4.12 Grafik tekanan *discharge* HS terhadap COP *cascade*

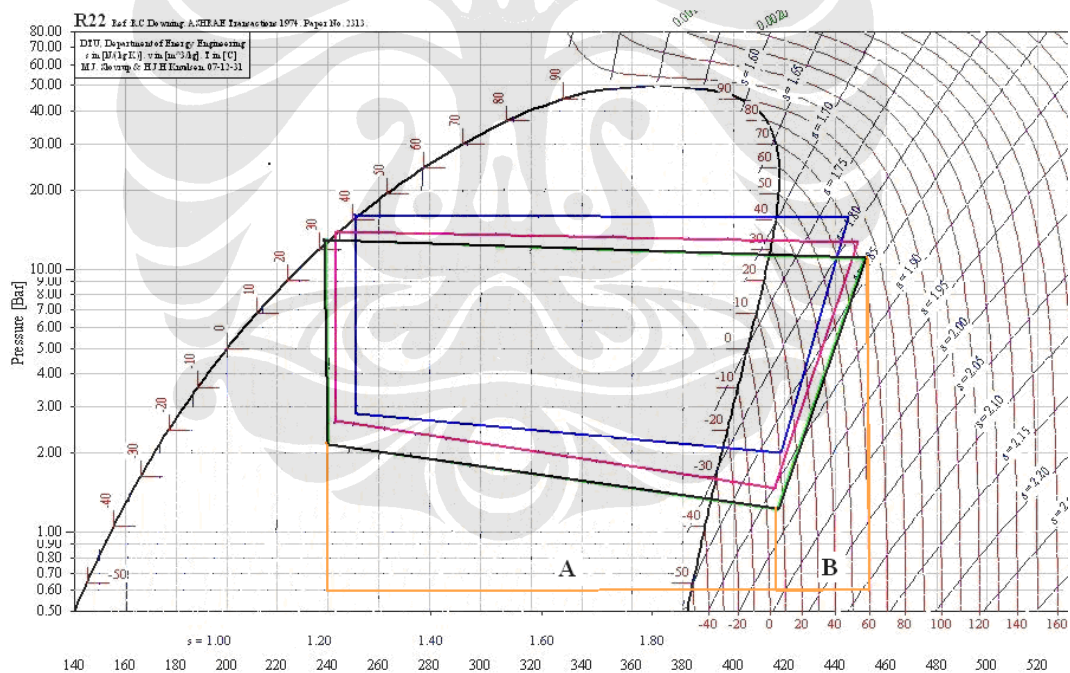
Grafik diatas memiliki kecenderungan berbeda dengan grafik COP HS dan LS, dimana nilai COP yang dihasilkan terus meningkat. Nilai COP *cascade* merupakan hasil bagi antara kapasitas refrigerasi LS dengan penjumlahan kerja kompresor HS dan LS. Namun dapat terlihat bahwa kenaikan nilai COP yang ada pada dasarnya tidaklah terlalu besar hal ini disebabkan perubahan yang tidak terlalu besar pada bagian kapasitas refrigerasi LS. Kecenderungan yang terus meningkat diatas dikarenakan kerja kompresor HS pada tekanan 16 bar masih lebih kecil nilainya dibandingkan pada tekanan 15,8 bar.

Menjadi rendahnya nilai COP *cascade* merupakan suatu konsekuensi yang dihasilkan untuk mencapai temperatur evaporasi yang sangat rendah, dimana temperatur evaporasi tersebut sudah tidak mampu dicapai dengan menggunakan sebuah siklus tunggal. Nilai COP *cascade* menjadi lebih rendah dibandingkan nilai COP siklus tunggal karena pada sistem *cascade* nilai COP dibagi dengan dua nilai kerja kompresor baik HS dan LS.

4.5 PENGARUH PERUBAHAN TEKANAN *DISCHARGE HIGH-STAGE* TERHADAP DIAGRAM P-H

4.5.1 Diagram p-h HS

Beberapa *plotting* beberapa siklus refrigerasi HS pada diagram p-h menunjukkan beberapa hal diantaranya semakin rendahnya tekanan maka efek refrigerasi (A) yang dapat dihasilkan pun semakin besar; temperatur *discharge*, kondenser dan *suction* pun mengalami penurunan. Sedangkan untuk kerja kompresor (B) dapat terlihat bahwa semakin rendah tekanannya semakin besar nilai kerja kompresor yang dibutuhkan. Dengan menurunnya tekanan maka garis A akan semakin panjang atau efek refrigerasi semakin besar namun diikuti dengan garis B yang semakin melebar ke kanan atau kerja kompresor yang semakin besar. Hal inilah yang dapat menyebabkan nilai COP pada sistem HS perlahan meningkat dan akhirnya mencapai suatu titik maksimum kemudian mengalami penurunan.

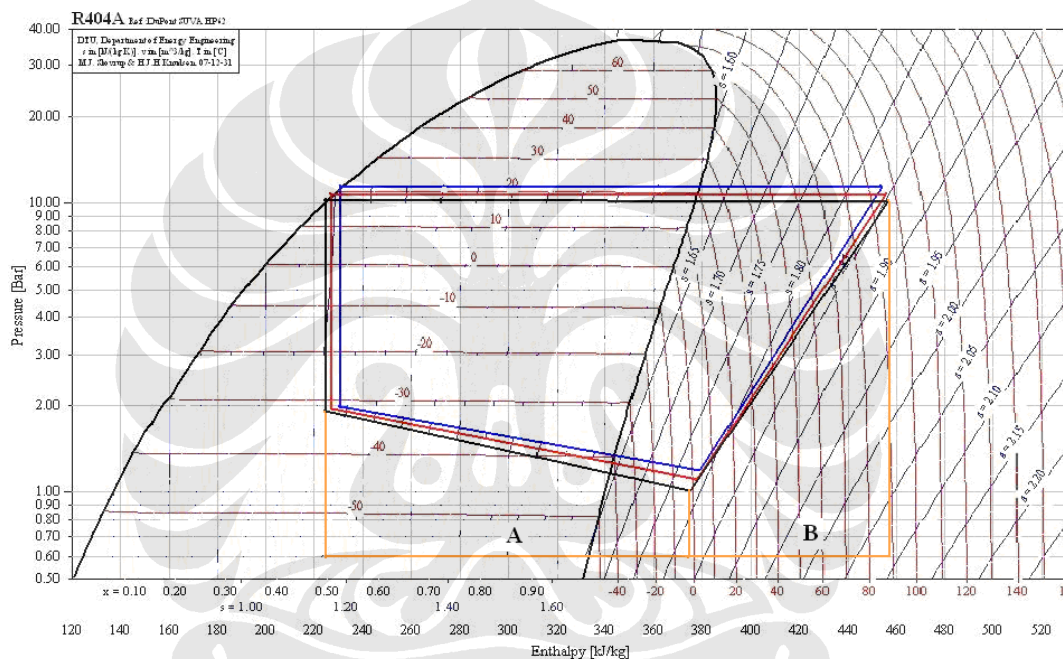


Gambar 4.13 Siklus refrigerasi HS pada diagram p-h

Penggambaran diagram p-h diatas mengambil beberapa asumsi diantaranya tidak terjadi *pressure drop* disepanjang bagian kondenser dan fase refrigeran yang keluar dari kondenser telah berfase cair.

4.5.2 Diagram p-h LS

Pada *plotting* beberapa siklus refrigerasi LS pada diagram p-h dibawah pun menunjukkan hal yang serupa seperti yang ditunjukkan pada sistem HS yakni semakin rendahnya tekanan maka efek refrigerasi (A) yang dapat dihasilkan pun semakin besar; temperatur *discharge*, kondenser dan *suction* pun mengalami penurunan. Sedangkan untuk kerja kompresor (B) dapat terlihat bahwa semakin rendah tekanannya semakin besar nilai kerja kompresor yang dibutuhkan. Hal tersebut juga menyebabkan nilai COP sistem LS mengalami kenaikan hingga titik maksimum kemudian selanjutnya mengalami penurunan.



Gambar 4.14 Siklus refrigerasi LS pada diagram p-h

Dari grafik diatas terlihat bahwa garis B pada LS memiliki wilayah yang lebih besar dibandingkan dengan HS hal ini dikarenakan lebih panjangnya pipa yang digunakan pada sistem LS dibanding dengan sistem HS sehingga dibutuhkan kerja kompresor yang lebih besar. Dengan besarnya nilai kerja kompresor tersebut maka nilai COP yang dihasilkan pada sistem LS tidaklah terlalu besar.

Penggambaran diagram p-h diatas mengambil beberapa asumsi diantaranya tidak terjadi *pressure drop* disepanjang bagian kondenser dan fase refrigeran yang keluar dari kondenser telah berfase cair.