

**RANCANGAN SISTEM PEMANAS UNTUK PROSES Pengerasan PANEL
KOMPOSIT DENGAN METODE *WET LAY UP* DI PROGRAM STUDI
TEKNIK PESAWAT UDARA SEKOLAH TINGGI PENERBANGAN
INDONESIA**

I Dewa Gde Darmawan⁽¹⁾, Ego Widoro⁽²⁾, Djoko Herwanto⁽³⁾

Politeknik Penerbangan Indonesia Curug, Tangerang.

Abstrak: Sistem pemanas yang dimiliki Program Studi Teknik Pesawat Udara Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia menghasilkan panas yang tidak merata sehingga akan berpengaruh pada penyatuan fiber dan matriks pada panel komposit tersebut, tentunya akan lebih baik jika terdapat sistem pemanas yang dapat menghasilkan panas secara menyeluruh dan *curing time* dari proses pengerasan itu dapat terpenuhi. Tahapan perancangan dimulai dengan perumusan masalah, pengumpulan data, pengolahan data, perancangan dan pemilihan sistem pengatur panas, perakitan komponen, uji coba rancangan, interpretasi dan kesimpulan. Proses perancangan elemen pemanas dimulai dengan menentukan temperatur maksimal proses pengerasan panel komposit yaitu 100 °C, penghitungan lama proses pengerasan yaitu 101 *menit* dan pemilihan elemen pemanas, yaitu 2 buah elemen pemanas *tubular* dengan panjang 100 *cm* dan diameter 8 *mm*. Dan proses pemilihan sistem pengatur panas dimulai dengan pemilihan komponen *thermocouple*, pengatur temperatur, sakelar, lampu indikator, kabel, *circuit breaker*, *fuse* dan yang terakhir adalah *contactor*. Dari perancangan ini diharapkan mampu mengatasi permasalahan pada alat pemanas sebelumnya.

Kata Kunci: panel komposit, pengerasan komposit, tungku pemanas, sistem pemanas

Abstract: *The heating system that owned Aviation Engineering Training Department, Indonesia Civil Aviation Institute produce uneven heat that would affect the unification of the fiber and the matrix of the composite panel, of course it would be better if there is a heating system that can generate heat thoroughly and curing time of the process hardening it can be met. Design stage begins with the formulation of the problem, data collection, data processing, designing and selection of thermal control systems, assembly components, test design, interpretations and conclusions. Heating element design process begins by determining the maximum temperature of the hardening process of the composite panel that is 100 degrees Celsius, calculating the long process of hardening is 101 minutes and the selection of heating elements, i.e 2 pieces of tubular heating elements with a length of 100 cm and a diameter of 8 mm. And heat control systems selection process begins with the selection of components thermocouple, temperature controller, switches, indicator lights, cables, circuit breakers, fuse and the last is the contactor. From this design is expected to solve the problems on the previous heating devices.*

Keyword: *composite panel, composite curing, furnace, heating system*

Pendahuluan

Pada praktikum mata kuliah Ilmu Bahan Pesawat II di Program Studi Teknik Pesawat Udara Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia, taruna melakukan praktikum pembuatan komposit dengan menggunakan metode *wet lay up*. Pada proses perlakuan panas tersebut menggunakan sumber panas berupa sebuah *heat gun*. Proses perlakuan panasnya tidak konstan dan tidak merata ke setiap bagian dari benda kerja. Panas yang tidak konstan ini akan menyebabkan penyatuan antara serat dan matriks tidak optimal yang berakibat terjadinya *delaminasi* yang dapat membuat kekuatan dari komposit menjadi berkurang.

Dari permasalahan di atas dibutuhkan perancangan sumber panas atau sistem pemanas diperlukan untuk menyediakan panas pada bagian dalam ruang pemanas. Sistem pemanas terdiri dari gabungan komponen yang saling berkaitan dan menjadi sebuah sistem pemanas. Sebuah sistem pemanas memerlukan kontrol untuk mengendalikan temperatur yang diinginkan dan diperlukan pengaman saat terjadi gangguan dalam sistem tersebut.

Tujuan merancang sistem pemanas agar mendapatkan nilai temperatur dan jenis sistem pengatur panas yang sesuai dengan proses pemanasan fiber dan matriks, adapun tujuan secara terperinci sebagai berikut: Tujuan perancangan elemen pemanas untuk menentukan nilai temperatur maksimal sesuai dengan jenis resin yang digunakan dan lama waktu proses pengerasan. Tujuan pemilihan sistem pengatur panas untuk

mendapatkan jenis *thermocouple*, kontrol temperatur, sakelar, lampu indikator, kabel, *circuit breaker*, *fuse* dan *contactor* yang sesuai dengan sistem pemanas dengan metode *wet lay up*.

Metodologi Perancangan

Keadaan Saat Ini.

Sesuai dengan Latar Belakang, saat melakukan praktik di *Composite Workshop* Program Studi Teknik Pesawat Udara, taruna menggunakan *heat gun* sebagai alat pemanas dalam proses pengerasan komposit.

Penggunaan *heat gun* ini tidak efektif dan penggunaannya tidak sesuai dengan buku pembelajaran yang selama ini digunakan, dikatakan tidak efektif karena panas yang dihasilkan tidak merata dan terukur. Taruna perlu bergantian untuk memegang *heat gun* dan mengarahkannya ke komposit secara merata agar semua bagian komposit terkena panas yang dihasilkan oleh *heat gun* (lihat Gambar 1).



Gambar 1 Penggunaan *Heat Gun*

Panas yang tidak merata akan menyebabkan penyatuan antara matriks dan fiber tidak sempurna. Penyatuan yang tidak sempurna akan berpengaruh terhadap ketahanan panel komposit terhadap beban yang diterima.

Keadaan Yang Diinginkan.

Berdasarkan kondisi yang ada saat ini di *Composite Workshop* Program Studi Teknik Pesawat Udara, penulis merancang sistem pemanas untuk proses pengerasan komposit dengan metode *wet lay up* yang mampu mengatasi masalah keefektifan, panas yang dihasilkan dan interval waktu pada penggunaan alat sebelumnya.

Dengan adanya sistem pemanas ini, mampu mewakili sistem kerja peralatan pembuatan komposit yang digunakan pada pesawat terbang dalam bentuk yang sederhana.

Proses dan Tahapan Perancangan

Dalam pembahasan ini penulis membagi tahapan rancangan ,menjadi 2 blok fungsi, yaitu: perancangan elemen pemanas dan memilih sistem pengatur panas. Pembagian blok fungsi ini bertujuan untuk mempermudah dalam pemilihan dan perhitungan komponen.

Perancangan elemen pemanas

1. Menentukan temperatur maksimal

Temperatur merupakan hal penting dalam proses pengerasan panel komposit dengan metode *wet lay up*, karena temperatur dalam sistem pemanas akan membantu penyatuan fiber dan matriks lebih cepat dibandingkan dengan temperatur ruangan.

Berdasarkan resin yang digunakan di *Composite Workshop*, temperatur maksimal yang digunakan adalah 100-115°C. Untuk selanjutnya perhitungan menggunakan temperatur 100 °C.

2. Menghitung lama waktu proses pengerasan

Lama waktu yang digunakan dalam proses pengerasan panel komposit merupakan penggabungan dari 3 segmen proses pengerasan panel komposit. Segmen pertama adalah *rump up*. *Rump up* adalah kenaikan temperatur yang dimulai dari temperatur ruangan yaitu 25 °C dan naik setiap 3°C tiap menitnya sampai mencapai temperatur 100 °C. Waktu *rump up* jika kenaikan temperatur 3 °C tiap menitnya adalah:

$$waktu_{rumpup} = \frac{100^{\circ}C - 25^{\circ}C}{3^{\circ}C / menit}$$

$$waktu_{rumpup} = 25menit$$

Segmen kedua adalah *hold*. *Hold* adalah proses mempertahankan temperatur 100°C selama 60 *menit*. Data ini berdasarkan jenis resin dan *curing agent* yang digunakan. Segmen terakhir adalah *cool down*. *Cool down* adalah penurunan temperatur maksimal 3°C tiap menitnya dari temperatur 100°C sampai turun di temperatur 52°C.

$$waktu_{cooldown} = \frac{100^{\circ}F - 52^{\circ}F}{3^{\circ}F / menit}$$

$$waktu_{cooldown} = 16menit$$

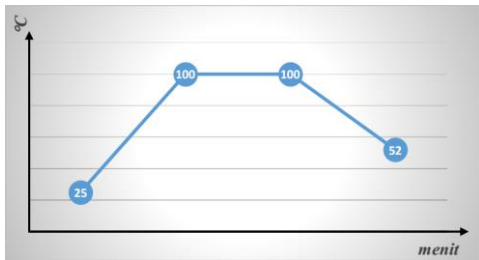
Total waktu yang digunakan dalam proses pengerasan panel komposit dengan metode *wet lay up* adalah:

$$waktu_{total} = 25menit + 60menit + 16menit$$

$$waktu_{total} = 101menit$$

Jadi total waktu yang digunakan dalam proses pengerasan panel

komposit dengan metode *wet lay up* adalah 101 *menit*. Penunjukan waktu dan temperatur dalam proses pengerasan panel komposit dengan metode *wet lay up* ini dapat ditunjukkan dengan grafik pada gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2 *Curing Time*

Gambar 2 di atas menjelaskan waktu proses pengerasan panel komposit dengan metode *wet lay up*. Dimulai dari temperatur ruangan 25°C *rump up* sampai 100°C dengan kenaikan temperatur 0.5-3°C tiap menitnya. Pada temperatur 100°C dilakukan *hold* selama 60 *menit*. Dari temperatur 100°C dilakukan *cool down* sampai turun di temperatur 52°C, dengan penurunan temperatur 3°C tiap menitnya.

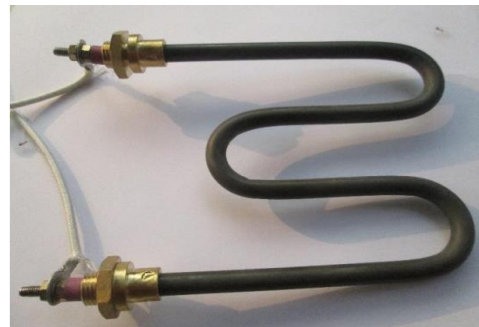
3. Memilih elemen pemanas

Rancangan ini menggunakan 2 buah elemen pemanas dengan panjang adalah 100cm atau 0.1m dan diameternya 8mm atau $8 \times 10^{-3}m$. Jenis elemen pemanas yang digunakan adalah jenis elemen pemanas *tubular* (lihat Gambar 3) dengan kawat jenis *nichrome* di dalamnya.

Pemilihan jenis elemen pemanas ini berdasarkan penggunaannya yang umum dan memiliki nilai tahanan yang cukup tinggi. Elemen pemanas dibentuk seperti huruf 'M' karena untuk menyesuaikan dengan peletakannya dan

luas dinding pada ruang pemanas. Akan digunakan pengontrol temperatur untuk membatasi temperatur yang dihasilkan elemen pemanas pada ruangan pemanas.

Untuk perhitungan daya yang dibutuhkan untuk memanaskan elemen pemanas akan dibahas pada pembahasan berikutnya.



Gambar 3 Elemen Pemanas

4. Menghitung daya yang dibutuhkan elemen pemanas

Elemen pemanas pada rancangan pemanas ini digunakan untuk memanaskan udara yang berada pada ruangan pemanas untuk proses pengerasan panel komposit dengan metode *wet lay up*.

Untuk menghitung daya yang dibutuhkan elemen pemanas diperlukan data nilai hambatan, panjang dan diameter kawat yang digunakan. Elemen pemanas *tubular* ini menggunakan *nichrome* sebagai kawat penghantar panasnya. Untuk nilai ρ *nichrome* adalah $110 \times 10^{-8} \Omega.m$.

Tapi untuk masalah sistem pemanas ini, kawat *nichrome* sudah terpasang di dalam elemen pemanas dan penulis tidak mengetahui diameter dari kawat tersebut, sehingga penulis melakukan pengukuran nilai hambatan

kawat *nichrome* dengan alat ukur multimeter dan didapat $R = 110\Omega$ untuk sebuah elemen pemanas. Karena menggunakan 2 elemen pemanas, maka hasil akhir akan dikalikan 2. Jadi daya yang dibutuhkan elemen pemanas adalah:

$$P = \left(\frac{V^2}{R} \right) \times 2$$

$$P = \left(\frac{220^2}{110} \right) \times 2$$

$$P = 440Watt \times 2$$

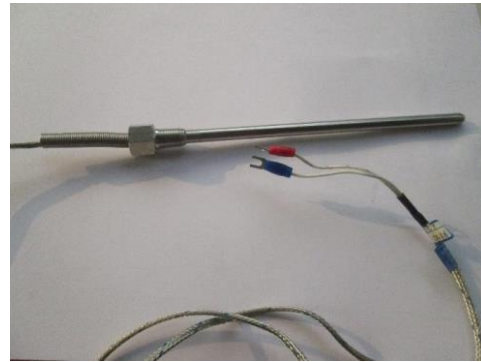
$$P = 880Watt \approx 1,000Watt$$

Memilih sistem pengatur panas

1. *Thermocouple*

Thermocouple digunakan sebagai sensor temperatur pada sistem pemanas. Berdasarkan temperatur pada proses pengerasan yaitu $100^\circ C$, jenis *thermocouple* yang digunakan adalah tipe K (*Chromel Alumel*) dengan sensor mencapai $1,200^\circ C$ (Gambar 4).

Pemilihan *thermocouple* dengan tipe K ini berdasarkan spesifikasi dari kontrol temperatur yang mengizinkan menggunakan *thermocouple* tipe K dan J. Penulis memilih tipe K karena nilai *emf*-nya sebesar $4,1\text{ mv}$, nilai *emf* ini lebih kecil dibandingkan dengan nilai *emf* tipe J yaitu $5,3\text{ mv}$ Selain itu, pemilihan *thermocouple* tipe K karena penggunaannya yang umum dan mudah didapat dipasaran, hal ini bertujuan mempermudah dalam proses perbaikan maupun perawatan dari komponen itu sendiri.



Gambar 4 *Thermocouple* tipe K

2. Pengatur temperatur

Pengatur temperatur digunakan sebagai pengendali nilai temperatur udara dalam rancangan yang akan bekerja memutuskan arus listrik ke elemen pemanas ketika udara mencapai temperatur yang diinginkan. Penulis menggunakan kontrol temperatur tipe TC4S.

Pengatur temperatur dalam sistem pemanas ini akan bekerja pada temperatur $100^\circ C$ dan bekerja pada tegangan AC $220V$ dan menggunakan sebuah kontrol temperatur digital (lihat Gambar 5) dengan daya maksimal 5 Watt .

3. Sakelar

Berdasarkan komponen yang dihubungkan dengan sakelar tersebut, maka penulis menggunakan sakelar tipe SPST/*Single Pole Single Throw* (lihat Gambar 6) dengan potensial sebesar 12 Volt DC dan derating factor 2.

4. Lampu indikator

Rancangan ini menggunakan 3 buah lampu indikator yang menunjukkan posisi POWER (lampu merah), sistem tidak bekerja atau OFF

(lampu merah) dan sistem bekerja atau ON (warna hijau) seperti Gambar 7.



Gambar 5 Digital Temperatur Control



Gambar 6 Sakelar yang digunakan

Lampu indikator tersebut mampu bekerja pada tegangan AC 220 Volt. Pada badan lampu tertulis 20 mA yang menunjukkan arus listrik yang dibutuhkan tiap lampu. Sehingga dapat dihitung dengan Persamaan 1 masing-masing lampu membutuhkan daya sebesar:

$$P = V \times I$$

$$P = 220\text{Volt} \times (2 \times 10^{-2})$$

$$P = 4.4\text{Watt}$$



Gambar 7 Lampu Indikator

5. Kabel

Kabel ditentukan oleh pengguna elemen pemanas, lampu indikator dan kontrol temperatur dengan menghitung arus listrik yang terjadi. Jika diketahui daya elemen pemanas adalah 1,000 Watt, daya lampu indikator 4.4 Watt dan tegangan PLN adalah 220 Volt maka untuk jumlah arus yang terjadi adalah:

$$P_{total} = P_1 + P_2 + \dots$$

$$P_{total} = P_{e.pemanas} + (3 \times P_{lampu}) + P_{temp.control}$$

$$P_{total} = 1,000\text{Watt} + (3 \times 4.4\text{Watt}) + 5\text{Watt}$$

$$P_{total} = 1,018.2\text{Watt} \approx 1,100\text{Watt}$$

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{1,100\text{Watt}}{220\text{Volt}}$$

$$I = 5\text{Ampere}$$

Jadi arus yang terjadi adalah sebesar 5 Ampere. Untuk pemilihan kabel dipilih jenis yang mampu bekerja dengan arus sebesar 5 Ampere.

6. Circuit Breaker

Komponen listrik pada rangkaian sistem pemanas yang membutuhkan daya adalah elemen pemanas sebesar 1,000 Watt, lampu indikator sebesar 4.4 Watt dan kontrol temperatur 5 Watt.

Dari daya total yang telah dihitung pada bagian e adalah sebesar 1,100 Watt tersebut, maka dapat diketahui sebagaimana nilai yang sama

pada pemilihan kabel Maka *circuit breaker* yang harus dipakai adalah *circuit breaker* yang nilainya sama atau lebih tinggi dari 5 *Ampere* dan tersedia di pasaran adalah 6 *Ampere*.

7. Fuse

Fuse digunakan untuk memutuskan sambungan pada rangkaian sakelar dan lampu indikator. Penggunaan besaran dari *fuse* dapat dihitung sebagai berikut:

$$P = V \times I$$

$$13.2\text{Watt} = 220\text{Volt} \times I$$

$$I = \frac{13.2\text{Watt}}{220\text{Volt}}$$

$$I = 0.06\text{Ampere}$$

Nilai yang mendekati penulis menggunakan *fuse* dengan 2 *Ampere*

8. Contactor

Rancangan ini menggunakan sebuah *contactor* magnetik dalam rancangan sistem pemanas. *Contactor* merupakan kontrol dari *Circuit Breaker*, lampu indikator dan kontrol temperatur. Pemilihan *contactor* berdasarkan beban yang dapat dikontrol seperti lampu dan pemanas, dengan bertegangan 220/240 Volt AC.

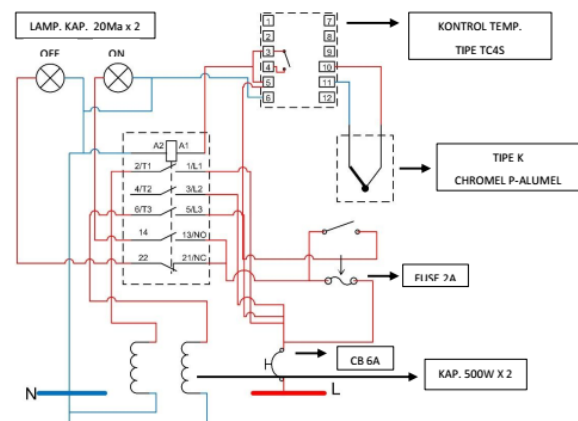
9. Rangkaian kelistrikan

Keseluruhan komponen kelistrikan di atas di rangkai menjadi rangkaian yang dapat bekerja sebagaimana tujuan dari rancangan system pemanas.

Rancangan sistem pemanas menggunakan komponen yang telah dihitung dan dipilih untuk mendukung kinerja dari sistem pemanas ini, yaitu: elemen pemanas yang digunakan

sebagai penghasil panas, *thermocouple* sebagai sensor panas, kontrol temperatur digunakan untuk mengatur suhu di dalam ruangan pemanas, *circuit breaker* sebagai pengaman saat terjadi kelebihan arus yang mengalir pada sistem pemanas, sakelar sebagai penyambung dan pemutus arus listrik, *fuse* sebagai pengaman pada rangkaian sakelar dan lampu indikator dan kabel sebagai penghantar arus listrik.

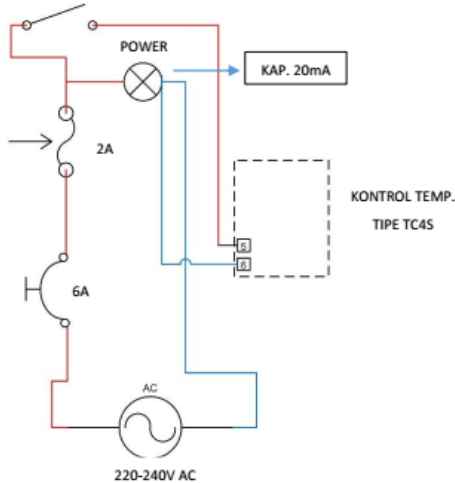
Ketika sakelar dalam posisi terhubung maka arus akan mengalir dari sumber ke kontrol temperatur dan secara bersamaan lampu indikator OFF akan padam dan lampu indikator ON akan menyala. Pada saat itu juga elemen pemanas akan bekerja. Saat sensor dari *thermocouple* menunjukkan temperatur yang diinginkan *contactor* akan tertutup, sehingga arus yang mengalir ke lampu indikator ON dan elemen pemanas akan terputus. Lampu indikator OFF akan menyala kembali. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 8 di bawah ini



Gambar 8 Rangkaian kabel kontrol sistem pemanas

Saat sistem telah disambungkan ke sumber tegangan 220 VAC maka

lampu indikator POWER akan menyala dan saat sakelar dalam posisi terhubung maka arus dari sumber tegangan akan masuk ke kontrol temperatur. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 9 di bawah ini..



Gambar 9 Rangkaian kabel power sistem pemanas

Setelah melakukan perhitungan dan pemilihan komponen untuk perancangan sistem pemanas untuk proses pengerasan komposit dengan metode *wet lay up*, penulis melakukan analisis hasil perhitungan dengan keadaan di pasaran, dengan data sebagai berikut pada tabel 1.

Tabel 1 Perbandingan Komponen

No	Nama Bagian	Hasil Perhitungan	Keadaan di Pasaran
1	Daya elemen pemanas	880 Watt	1.000 Watt
2	Circuit Breaker	5 Amper	6 Amper
3	Fuse	0.06 Amper	2 Amper

10. Pemasangan pada Ruang Pemanas

Pemasangan Rangkaian kelistrikan dapat dilihat pada gambar 10 dan 11 berikut:



Gambar 10 Panel Kelistrikan pada Ruang pemanas



Gambar 11 Sistem Kelistrikan di dalam Ruang pemanas

Diskusi

Setelah melakukan uji coba pada rancangan, penulis menginterpretasi hasil uji coba untuk mengetahui keberhasilan dari rancangan.

Keberhasilan dari rancangan dapat dibandingkan dengan kriteria yang telah ditentukan.

1. Setelah melakukan pengujian sebanyak 3 kali pengujian, sistem pemanas dapat bekerja dengan baik dan tidak mengalami gangguan.
2. Hasil uji coba waktu dan temperatur pada proses *curing* adalah:
 - a. Temperatur awal ruangan pemanas pada pembahasan perhitungan adalah 25°C. Pada Pengujian I temperatur ruangan

- 31°C. Pada Pengujian II temperatur ruangan ditunjukkan 30°C sedangkan pada Pengujian III temperatur ruangan adalah 28°C. Perbedaan temperatur pada waktu uji coba dan hasil perhitungan disebabkan oleh perbedaan panas yang berada di dalam ruang pemanas.
- b. Kenaikan temperatur 3°C tiap *menit* dari tiga hasil uji coba adalah masih dalam batas yang diperbolehkan yaitu 0.5-3°C tiap *menit*.
 - c. *Hold* pada tiga pengujian mengalami perbedaan yaitu 104°C pada Pengujian I, 100°C dari pada Pengujian II dan 101°C pada Pengujian III. Temperatur ini melebihi dari temperatur yang ditentukan yaitu 100°C. Perbedaan temperatur dari ketiga hasil uji coba ini disebabkan oleh tidak ada pengatur arus yang masuk ke elemen pemanas, sehingga panas yang dihasilkan tidak konstan. Semakin tinggi I maka P yang dihasilkan juga semakin besar. Tetapi temperatur ini masih dalam batas yang diizinkan yaitu 100-115°C.
 - d. Penurunan temperatur pada rancangan alat dilakukan percobaan sebanyak 3 kali uji coba. Pada Pengujian I penurunan temperatur 3°C tiap *menit*. Pada Pengujian II penurunan temperaturnya 2.8°C tiap *menit* dan pada Pengujian III penurunan temperaturnya 2.6°C tiap *menit*. Dari ketiga penurunan temperatur tersebut masih dalam batas maksimal yaitu 3°C tiap *menit*. Perbedaan penurunan temperatur ini dikarenakan berbedanya temperatur pada proses *hold*.
 - e. Total waktu pengerjaan panel komposit sesuai dengan hitungan adalah 101 *menit*. Pada Pengujian I total waktu pengerjaan adalah 101.6 menit, pada Pengujian II adalah 100.4 menit dan pada Pengujian III total waktu pengerjaan adalah 100.6 menit. Perbedaan hasil ini disebabkan oleh perbedaan dari faktor temperatur awal, kenaikan temperatur tiap menitnya dan penurunan temperatur tiap menitnya. Tapi, hasil uji coba total waktu pengerjaan ini dapat dikatakan berhasil, karena faktor yang menjadikan total waktu ini berbeda masih dalam batas yang diperbolehkan.
 - f. Semua komponen pengatur panas dapat berfungsi sesuai dengan fungsi dan kegunaannya.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil tahapan perancangan, maka diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam perancangan elemen pemanas berjumlah 2 berdaya 1,000 *Watt* dengan terlebih dahulu ditentukan temperatur maksimal yang digunakan dalam proses penyatuan fiber dan matriks yaitu 100-115°C. Kedua, lama waktu proses pengerasan yang dibutuhkan adalah 101 *menit*. Ketiga, pemilihan elemen pemanas dengan menggunakan 2 buah elemen pemanas jenis *tubular* yang dibentuk

menyerupai huruf 'M' dengan panjang masing-masing 100 cm, $R=110 \Omega$ dan diameter 8 mm.

2. Dalam pemilihan sistem pengatur panas didapat:
 - a. *Thermocouple* tipe K (*Chromel Alumel*) dengan sensor temperatur mencapai 1,200 °C.
 - b. Kontrol temperatur bertegangan AC 220 Volt dengan daya maksimal 5 Watt dan bekerja pada temperatur 100-115 °C.
 - c. Sakelar tipe SPST (*Single Pole Single Throw*), dengan *directing factor* 2.
 - d. 3 buah lampu indikator dengan daya 4.4 Watt.
 - e. Kabel pejal dengan kemampuan menghantarkan arus sebesar 5-20 Amper.
 - f. *Circuit breaker* berating 6 Amper.
 - g. *Fuse* berating 2 Amper.
 - h. Contactor 220Volt AC.

Daftar Pustaka

- Bondan., S., T. (2010). Pengantar Material Teknik. Jakarta: Salemba Teknika.
- Buchori., L. (2004). Buku Ajar Perpindahan Panas. Semarang : Jur. Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Bueche., F., J. Fisika. Penerbit Erlangga.
- Depertemen Teknik Kimia ITB. Modul 2.04 Perpindahan Panas Secara Konveksi.
- Syaiful., M. (2009). Mekanisme Perpindahan Energi. Bogor: IPB Press.
- Federal Aviation Administrasi. (2008). Aviation Maintenance Technician Handbook. U.S. Department of Transportation.
- Federal Aviation Administration. (2012). Aviation Maintenance Technical Handbook-Airframe Volume 1. U.S. Department of Transportation.
- Foreman., C. (2002). Advance Composites. USA: Jeppesen.
- Henkel dan Pense. (2001). Structure and Properties of Engineering Materials. Singapore: McGraw-Hill Higher Education.
- Moran., M., J dan Shapiro. Howard N. (2004). Termodinamika Jilid 1. Alih Bahasa oleh Yulianto Sulisty Nugroho, Jakarta: Erlangga,.
- Naga., D., S. (1991). Fisika. Ilmu Panas Edisi Kedua. Jakarta: Gunadarma.
- Robertson., H., B. (2008). Keterampilan Teknik Listrik Praktis. Bandung: Yrama Widya.
- Sear dan Zemansky. (2000). Fisika Universitas. Jakarta: Erlangga.
- Resolutation Performance Products. (2001). EPON® Resin Structural Reference Manual.
- <http://electric-mechanic.blogspot.com/2013/08/digital-temperature-controller.html>, Sabtu, 06 Juni 2015, 8.35 WIB
- http://en.wikipedia.org/wiki/Heating_element, Jumat, 05 Juni 2015, 17.02 WIB