

PERANCANGAN BONDING ASSEMBLY JIG

Yatna Yuwana Martawirya, Sri Hardjoko Wirjomartono, Totok Ary Riptanto
Lab. Teknik Produksi & Metrologi Industri, Jurusan Mesin - ITB

ABSTRAK

Sejalan dengan kemajuan teknologi di bidang industri pesawat terbang dan ruang angkasa, saat ini diperlukan material yang memiliki perbandingan kekuatan terhadap berat setinggi mungkin. Salah satu material yang sesuai dengan permintaan ini adalah komposit, yang banyak digunakan dalam struktur pesawat terbang. Komposit merupakan gabungan dari beberapa material yang disatukan pada temperatur dan tekanan tertentu. Proses terakhir ini dinamakan proses *curing*, dan biasanya dilakukan di dalam *autoclaves*.

Salah satu produk komposit adalah komponen komposit yang terbuat dari Aluminium. Komponen yang dibuat ini harus memenuhi syarat-syarat yang diperlukan pesawat terbang, diantaranya geometri dan stabilitas bentuk yang memenuhi persyaratan. Untuk mendapatkan ini komponen komposit dibuat dengan menggunakan perkakas bantu yaitu *bonding tool* atau *Bonding Assembly Jig* (BAJ).

Dalam makalah ini akan dibahas perancangan BAJ untuk pembuatan komponen pada sayap pesawat terbang, yaitu *aft flap assy outboard trailing edge flap wing*. Penelitian yang dilakukan bertujuan menentukan performansi dan mengoptimalkan rancangan BAJ. Dari hasil perhitungan diketahui bahwa defleksi sewaktu proses handling sebesar 10,83 mm. Ini berarti masih di bawah defleksi yang diijinkan, yaitu 14,96 mm. Alternatif rancangan BAJ 3 dipilih karena mempunyai performansi perpindahan panas yang paling baik.

Kata kunci : sambungan *adhesives*, performansi kekakuan, performansi perpindahan panas.

1. PENDAHULUAN

Pembahasan performansi BAJ ditekankan pada kekakuan dan perpindahan panas.

Sewaktu proses handling, terjadi defleksi cukup besar pada BAJ bila BAJ yang dirancang kurang kaku. Hal ini akan mengakibatkan benda kerja mengalami ketidak tepatan posisi antar bagian benda yang akan digabung. Atau dapat juga terjadi sebaliknya, yaitu BAJ terlalu kaku, dengan demikian akan menyebabkan BAJ terlalu berat.

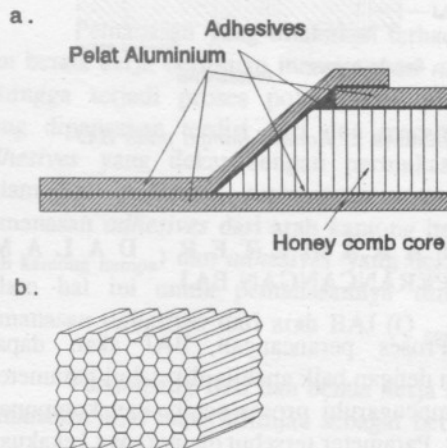
Performansi perpindahan panas ditentukan oleh koefisien perpindahan panas BAJ sewaktu proses *curing*.

Pada bagian berikut akan dibahas sambungan *adhesives* pada aluminium serta parameter dalam perancangan BAJ. Selanjutnya akan dibahas penentuan performansi rancangan BAJ, baik performansi kekakuan maupun performansi perpindahan panas. Kemudian akan dijelaskan rancangan BAJ yang diajukan pada studi kasus pembuatan komponen pesawat terbang. Terakhir disampaikan kesimpulan atas penelitian ini.

2. SAMBUNGAN ADHESIVES PADA ALUMINIUM

Komponen komposit yang dibuat merupakan gabungan pelat Aluminium dengan *metallic*

honey comb core yang dapat digambarkan sebagai berikut :



GAMBAR 1. a. Komponen komposit dari Aluminium
b. Honey comb core

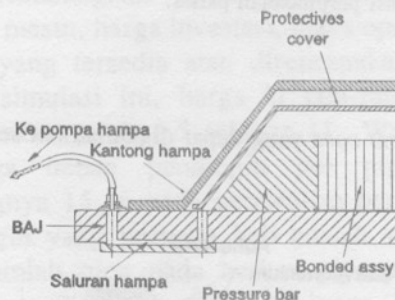
Ketahanan sambungan *adhesives* akan baik bila *adhesives* yang digunakan mempunyai karakteristik sesuai dengan jenis sambungan yang digunakan. Berbagai kondisi sambungan *adhesives* yang berpengaruh dalam penentuan ketahanan sambungan antara lain adalah proses *curing* dan penekanan yang diberikan pada *adhesives*.

Sambungan *adhesives* akan berfungsi efektif apabila diberikan proses *curing*. Semakin tinggi temperatur *curing*, semakin rendah pula

viskositas *adhesives*. Pada viskositas yang rendah *adhesives* dengan mudah mengalir dan menempel pada daerah *adheren* (permukaan material yang akan disambung). Selain itu *adhesives* dengan viskositas rendah akan mengisi tempat yang kosong di permukaan tanpa terbentuk kantong udara.

Proses *curing* yang disertai dengan tekanan akan menyebabkan daya tempel *adhesives* meningkat. Penekanan memberikan gaya tambahan pada *adhesives* untuk mengalir dan mengisi profil yang kasar atau pori-pori di permukaan.

Selain hal tersebut di atas, agar udara tidak terjebak dalam *adhesives*, yang tentu saja akan menurunkan ketahanan sambungan, selama proses polimerisasi BAJ diberi kondisi hampa. Pemberian kondisi hampa dilakukan sebelum proses *curing* dimulai. Setelah mencapai tekanan tertentu saluran hampa dibuka dengan tujuan mengalirkan gas yang terbentuk akibat polimerisasi sewaktu proses *curing*. Kondisi hampa pada BAJ tersebut dapat ditunjukkan dalam gambar 2.



GAMBAR 2. Kondisi hampa pada BAJ

3. PARAMETER DALAM PERANCANGAN BAJ

Proses perancangan BAJ akan dapat dilakukan dengan baik apabila diketahui parameter yang mempengaruhi proses pembuatan komponen komposit. Parameter tersebut diantaranya kekakuan dan perpindahan panas. Kekakuan BAJ yang baik akan menyebabkan komponen yang dihasilkan memenuhi persyaratan. Dengan semakin baik perpindahan panas BAJ, maka temperatur pemanasan *adhesives* akan semakin cepat tercapai.

Kekakuan BAJ yang berperan penting dalam proses pembuatan adalah kekakuan sewaktu proses *handling* untuk membawa BAJ dari satu proses ke proses lainnya. Selain itu juga kekakuan BAJ sewaktu proses *curing*.

Supaya pengaruh perpindahan panas pada BAJ diketahui, maka koefisien perpindahan panas BAJ sewaktu proses *curing* perlu ditentukan.

Sewaktu proses *curing*, BAJ dipanaskan di *autoclaves* dengan cara mengalirkan udara panas BAJ. BAJ dalam *autoclaves* dapat digambarkan seperti berikut :

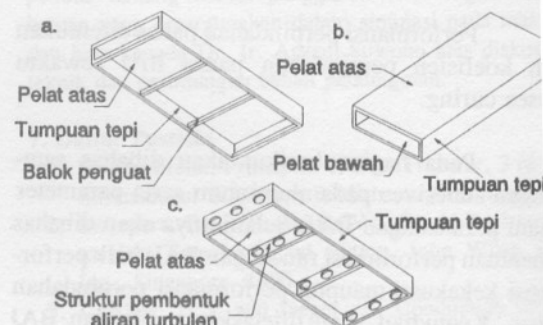


GAMBAR 3. Autoclaves

Dengan mengetahui koefisien perpindahan panas BAJ, maka distribusi temperatur sewaktu proses *curing* akan dapat diketahui. Distribusi temperatur BAJ berguna untuk mengetahui jumlah energi sewaktu pemanasan BAJ. BAJ yang efisien & ekonomis diperoleh apabila jumlah energi pemanasan yang diperlukan kecil.

4. PENENTUAN PERFORMAN RANCANGAN BAJ

Berbagai alternatif rancangan BAJ yang dapat dibuat perlu diketahui agar dapat ditentukan rancangan BAJ yang baik. Berbagai alternatif rancangan BAJ tersebut dapat dimodelkan dalam gambar 4.



GAMBAR 4. Alternatif rancangan BAJ

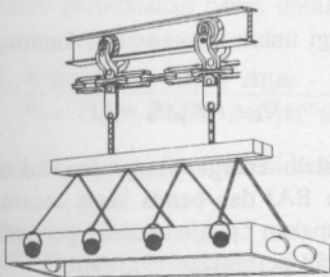
Model alternatif rancangan BAJ pada gambar merupakan bentuk dasar berbagai rancangan BAJ yang dapat dibuat. Untuk selanjutnya gambar 4. dinamakan alternatif rancangan BAJ 1, gambar 4.

dinamakan alternatif rancangan BAJ 2 dan gambar 4.c dinamakan alternatif rancangan BAJ 3. Alternatif rancangan BAJ lain merupakan gabungan dari model alternatif rancangan BAJ 1,2 atau 3.

4.1. Performansi kekakuan

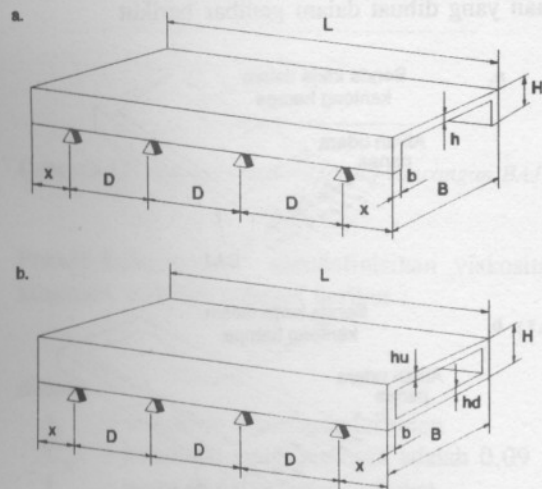
Penentuan performansi kekakuan BAJ ditekankan pada penentuan jumlah tumpuan BAJ sewaktu proses *handling* dan proses *curing*. Dengan mengetahui jumlah tumpuan BAJ maka defleksi yang terjadi pada BAJ dapat diatur besarnya. Apabila defleksinya terlalu besar, maka jumlah tumpuannya ditambah.

BAJ sewaktu proses *handling* secara sederhana dapat ditunjukkan dalam gambar berikut:



GAMBAR 5. BAJ sewaktu proses *handling*

Tumpuan BAJ sewaktu proses *handling* dapat disederhanakan menjadi gambar 6.

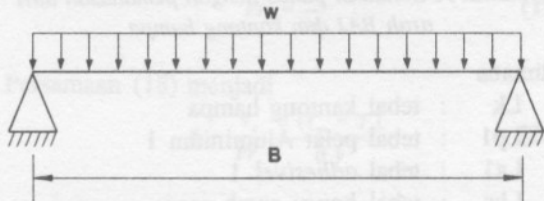


GAMBAR 6. Tumpuan BAJ sewaktu proses *handling*
a. alternatif rancangan BAJ 1 dan 3
b. alternatif rancangan BAJ 2

Defleksi yang terjadi didapat dengan membagi BAJ dalam daerah antara dua tumpuan dengan panjang D (gambar 6). Defleksi yang terjadi tersebut tidak boleh melebihi $D/360^{[1]}$.

Jumlah tumpuan sewaktu *handling* didapat dengan membagi panjang BAJ (L) dengan jarak tumpuan yang diijinkan (D). Defleksi yang terjadi dipengaruhi oleh besar momen inersia. Dalam hal ini momen inersia alternatif rancangan BAJ 2 lebih besar dibanding alternatif rancangan BAJ 3 dan 1. Oleh karena itu defleksi yang terjadi pada alternatif rancangan BAJ 2 lebih kecil dibandingkan alternatif rancangan BAJ 3 dan 1.

Sewaktu proses *curing* BAJ dalam arah melintang dapat disederhanakan seperti gambar berikut :



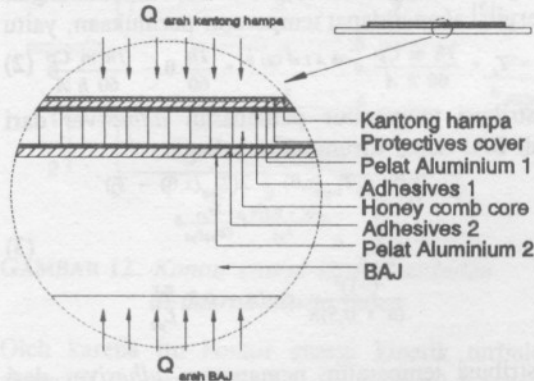
GAMBAR 7. Penyederhanaan BAJ sewaktu *curing*

Defleksi maksimum yang bekerja pada kasus tersebut tidak boleh melebihi defleksi yang diijinkan, yaitu sebesar $B/360$. Apabila defleksi yang bekerja melebihi $B/360$ maka jumlah tumpuannya ditambah.

4.2 Performansi perpindahan panas

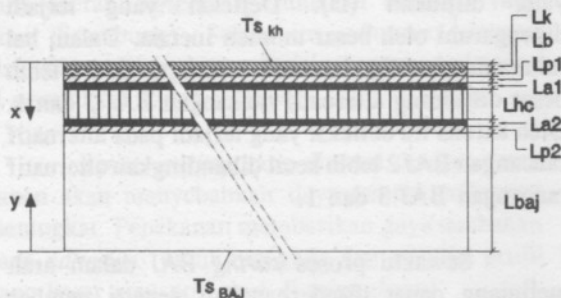
Pemanasan yang dilakukan terhadap BAJ dan benda kerja bertujuan memanaskan *adhesives* sehingga terjadi proses polimerisasi. *Adhesives* yang dipanaskan terdiri dari dua macam, yaitu *adhesives* yang dekat dengan permukaan atas, dalam hal ini untuk pemanasannya disebut pemanasan *adhesives* dari arah kantong hampa (Q arah kantong hampa) dan *adhesives* yang dekat BAJ, dalam hal ini untuk pemanasannya dinamakan pemanasan *adhesives* dari arah BAJ (Q arah BAJ).

Penampang BAJ dan benda kerja sewaktu pemanasan BAJ dapat ditinjau sebagai berikut :



GAMBAR 8. Penampang melintang dari BAJ dan benda kerja

Konduksi panas dengan pemanasan dari arah BAJ dan kantong hampa digambarkan sebagai berikut :



GAMBAR 9. Konduksi panas dengan pemanasan dari arah BAJ dan kantong hampa

dimana

- Lk : tebal kantong hampa
- Lp1 : tebal pelat Aluminium 1
- La1 : tebal adhesives 1
- Lhc : tebal honey comb core
- La2 : tebal adhesives 2
- Lp2 : tebal pelat Aluminium 2
- Lbaj : tebal BAJ
- Lb : tebal protectives cover
- Lk : tebal kantong hampa
- $T_{s_{kh}}$: temperatur permukaan kantong hampa
- $T_{s_{BAJ}}$: temperatur permukaan BAJ
- x : variabel jarak untuk perhitungan perpindahan panas dengan pemanasan dari arah BAJ
- y : variabel jarak untuk perhitungan perpindahan panas dengan pemanasan dari arah kantong hampa.

Andaikan dalam pemanasan BAJ digunakan *auto-claves* dengan kenaikan temperatur (*heat up rate*) sebesar T_h ° / menit dan temperatur awal (T_i), maka temperatur sekeliling di dalam *autoclaves* (T_∞) dapat ditulis sebagai

$$T_\infty = T_i + \frac{T_h \theta}{60} \quad (1)$$

dimana θ adalah variabel waktu (detik).

Dengan menggunakan persamaan keseimbangan energi^[2] akan didapat temperatur permukaan, yaitu

$$T_s = T_i + \frac{Th m Cp}{60 h A} e^{-(h A / m Cp) \theta} + \frac{Th}{60} \theta - \frac{Th m Cp}{60 h A} \quad (2)$$

Distribusi temperatur pemanasan *adhesives* dari arah BAJ dapat dirumuskan sebagai

$$T_{p2}(x, \theta) = T_{baj}(x, \theta) - 2(T_{baj}(x, \theta) - T_i) \sum_{n=0}^{\infty} e^{-\left[\frac{(n+0.5)\pi}{L_{p2}}\right]^2 \frac{k_{p2}}{C_{p2}\rho_{p2}} \theta} \frac{(-1)^2}{(n+0.5)\pi} \cos(n+0.5) \frac{\pi x}{L_{p2}} \quad (3)$$

Distribusi temperatur pemanasan *adhesives* dari arah kantong hampa dapat dituliskan sebagai

Dengan m adalah massa dan Cp adalah panas jenis, maka jumlah energi yang diperlukan untuk memanaskan BAJ sebesar

$$T_{p1}(y, \theta) = T_b(y, \theta) - 2(T_b(y, \theta) - T_i) \sum_{n=0}^{\infty} e^{-\left[\frac{(n+0.5)\pi}{L_{p1}}\right]^2 \frac{k_{p1}}{C_{p1}\rho_{p1}} \theta} \frac{(-1)^2}{(n+0.5)\pi} \cos(n+0.5) \frac{\pi y}{L_{p1}} \quad (4)$$

$$Q_{BAJ} = m_{BAJ} C_{pBAJ} (T_{baj} - T_i) \quad (5)$$

Jumlah energi untuk memanaskan pelat Aluminium 2 adalah

$$Q_{p2} = m_{p2} C_{pp2} (T_{p2} - T_i) \quad (6)$$

Jumlah energi untuk memanaskan pelat Aluminium 1 sebesar

$$Q_{p1} = m_{p1} C_{pp1} (T_{p1} - T_i) \quad (7)$$

Jumlah energi untuk memanaskan *protectives cover* adalah

$$Q_b = m_b C_{pb} (T_b - T_i) \quad (8)$$

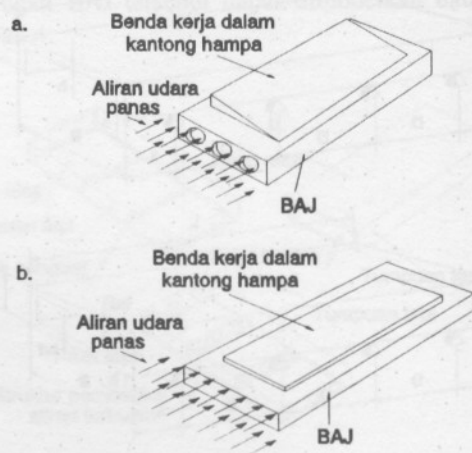
Jumlah energi untuk memanaskan kantong hampa adalah

$$Q_k = m_k C_{pk} (T_k - T_i) \quad (9)$$

Jumlah energi yang diperlukan untuk memanaskan BAJ dan benda kerja secara keseluruhan merupakan penjumlahan persamaan (5) sampai dengan persamaan (9), yaitu

$$Q = Q_{baj} + Q_{p2} + Q_{p1} + Q_b + Q_k \quad (10)$$

Koefisien perpindahan panas (h) yang terjadi dari arah kantong hampa untuk ketiga alternatif rancangan diasumsikan sama. Penentuan koefisien perpindahan panas dari arah kantong hampa didapat dengan menggunakan penyederhanaan yang dibuat dalam gambar berikut



GAMBAR 10. Penyederhanaan BAJ untuk penentuan performansi perpindahan panas

Gambar 10.b merupakan penyederhanaan dari BAJ yang sesungguhnya (gambar 10.a). Dengan penyederhanaan ini maka BAJ dapat dianggap sebagai permukaan rata. Koefisien perpindahan panas untuk kasus ini^[3] adalah

$$\bar{h}_1 = \frac{\bar{Nu} k_f}{L} = \frac{k_f}{L} 0,036 Pr^{1/3} Re^{0,8} \quad (11)$$

dimana L adalah panjang BAJ (gambar 6.), k_f adalah konduktivitas panas fluida pemanas dan Nu adalah bilangan Nusselt.

Koefisien perpindahan panas yang terjadi dari arah BAJ untuk masing-masing alternatif rancangan adalah sebagai berikut :

1. Alternatif rancangan BAJ 1

Koefisien perpindahan panas untuk kasus ini

$$\bar{h}_1 = \frac{\bar{Nu}_1 k_f}{L} = \frac{k_f}{L} 0,036 Pr^{1/3} Re^{0,8} \quad (12)$$

2. Alternatif rancangan BAJ 2

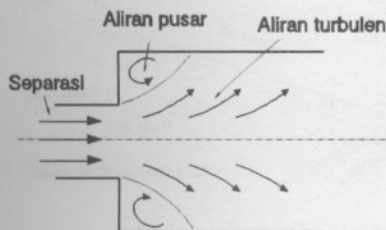
Koefisien perpindahan panas untuk kasus ini^[4]

$$\bar{h}_2 = \frac{\bar{Nu}_2 k_f}{D_h} = \frac{k_f}{D_h} \frac{[(0,79 \ln Re - 1,64)^{-2}/8][Re - 1000] Pr}{1 + 12,7[(0,79 \ln Re - 1,64)^{-2}/8]^{1/2} [Pr^{2/3} - 1]} \quad (13)$$

dimana D_h adalah diameter hidrolis.

3. Alternatif rancangan BAJ 3

Bentuk alternatif rancangan BAJ 3 ini dapat dianalogikan sebagai saluran yang mengalami pembesaran, yang dapat digambarkan sebagai gambar berikut



GAMBAR 11. Analogi untuk alternatif rancangan BAJ 3

Prandtl-Kolmogorov^[5] mendefinisikan viskositas kinematik turbulen sebagai berikut :

$$\nu_t = C_\mu k^{1/2} l \quad (14)$$

dimana

- ν_t : viskositas kinematik turbulen
- C_μ : konstanta yang besarnya adalah 0,09
- l : suatu skala panjang turbulen

Dengan asumsi bahwa skala panjang turbulen sebanding dengan jarak terhadap permukaan, $l = C_l y$, maka persamaan tersebut akan menjadi

$$\nu_t = K^* k^{1/2} y \quad (15)$$

dimana

$$K^* \equiv C_\mu \cdot C_l, \text{ besarnya mendekati } 0,22.$$

Fluks panas pada aliran didekat dinding sebesar

$$\bar{q} = k_f \frac{\partial (T_w - T_s)}{\partial y} \quad (16)$$

Dengan menggunakan difusivitas panas turbulen, yaitu

$$\sigma_t = \frac{k_f}{\rho C_p} \quad (17)$$

maka persamaan (16) menjadi

$$\bar{q} = \sigma_t \rho C_p \frac{\partial (T_w - T_s)}{\partial y} \quad (18)$$

Dengan definisi bilangan Prandtl turbulen sebagai berikut :

$$Pr_t = \frac{\nu_t}{\sigma_t} \quad (19)$$

Persamaan (18) menjadi

$$\bar{q} = \frac{\nu_t}{Pr_t} \frac{\partial (T_w - T_s)}{\partial y} \quad (20)$$

dengan memasukkan persamaan (15) ke dalam persamaan (20) akan didapat

$$\frac{\bar{q}}{\rho C_p} = \frac{K^* k^{1/2}}{Pr_t} y \frac{\partial (T_w - T_s)}{\partial y} \quad (21)$$

Integrasi persamaan (21) akan menghasilkan

$$\frac{\rho C_p [T_w - T_s] k^{1/2}}{\bar{q}} = \frac{Pr_t}{K^*} \ln y \quad (22)$$

Persamaan untuk fluks panas adalah

$$\bar{q} = h (T_w - T_s) \quad (23)$$

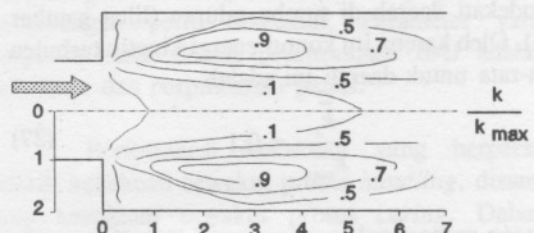
Dengan menggunakan persamaan (22) dan (23) akan didapat bilangan Nusselt untuk kasus ini, yaitu sebesar

$$Nu = \frac{h L}{k_f} = \frac{\bar{q} L}{k_f (T_w - T_s)} \quad (24)$$

atau

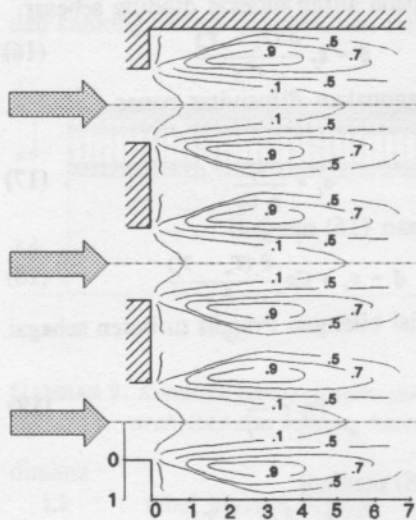
$$Nu = \frac{\rho C_p}{k_f} \frac{k^{1/2} K^* L}{Pr_t \ln y} \quad (25)$$

Menurut Runchal's^[6] daerah aliran pusar mempunyai kontur energi kinetik turbulen seperti dilukiskan dalam gambar berikut



GAMBAR 12. Kontur energi kinetik turbulen di daerah aliran pusar

Oleh karena itu kontur energi kinetik turbulen alternatif rancangan BAJ 3 dengan jumlah lubang sebanyak tiga buah dapat dilukiskan seperti gambar 13. Energi kinetik turbulen untuk kasus BAJ ini merupakan energi kinetik turbulen rata-rata, yaitu sebesar



GAMBAR 13. Kontur energi kinetik turbulen pada alternatif rancangan BAJ 3

$$\bar{k} = \frac{\sum k A}{\sum A} \quad (26)$$

dimana

k : energi kinetik turbulen pada posisi tertentu
 A : luas daerah dengan energi kinetik turbulen sebesar k

Dengan menggunakan persamaan (25) dan persamaan (26) maka bilangan Nusselt untuk BAJ dengan struktur pembentuk aliran turbulen (alternatif rancangan BAJ 3) dapat dibandingkan dengan bilangan Nusselt untuk BAJ dengan struktur saluran (alternatif rancangan BAJ 2).

Pada daerah struktur saluran (tanpa pembentuk aliran turbulen) bilangan Nusselt adalah

$$Nu_s = \frac{[(0,79 \ln Re - 1,64)^{-2} / 8] [Re - 1000] Pr}{1 + 12,7[(0,79 \ln Re - 1,64)^{-2} / 8]^{1/2} [Pr^{2/3} - 1]} \quad (13)$$

Untuk daerah saluran tanpa struktur pembentuk aliran turbulen, kontur energi kinetik turbulen mendekati daerah di sumbu saluran (lihat gambar 12.). Oleh karena itu kontur energi kinetik turbulen rata-rata untuk daerah ini adalah

$$\frac{\bar{k}_s}{k_{\max}} = 0,1 \quad (27)$$

Dengan menggunakan persamaan (25) dimana Nu merupakan fungsi dari k dan variabel yang lain konstan untuk saat yang tertentu, maka perbandingan bilangan Nusselt untuk daerah saluran dengan struktur pembentuk aliran turbulen dengan saluran tanpa pembentuk aliran turbulen adalah

$$\frac{Nu_t}{Nu_s} = \frac{k_t^{1/2}}{k_s^{1/2}} \quad (28)$$

sehingga

$$Nu_t = 3,16 \frac{(\sum k A)^{1/2}}{(\sum A)^{1/2}} Nu_s$$

dimana

Nu_t : bilangan Nusselt pada daerah di struktur pembentuk aliran turbulen

Nu_s : bilangan Nusselt pada daerah tanpa tur pembentuk aliran turbulen.

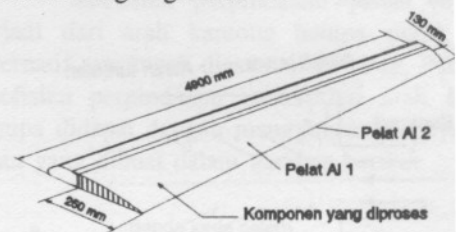
Oleh karena itu koefisien perpindahan panas alternatif rancangan BAJ 3 adalah

$$\bar{h}_3 = \frac{\bar{Nu}_t k_f}{D_h}$$

Dari persamaan (29) dapat dilihat bahwa koefisien perpindahan panas alternatif rancangan BAJ 3 dipengaruhi oleh ukuran lubang dan jumlah lubang. Semakin banyak jumlah lubang, semakin besar pula jumlah energi kinetik turbulen (k) terjadi. Semakin kecil ukuran lubang, semakin besar pula jumlah energi kinetik turbulen pada daerah (A).

5. CONTOH KASUS

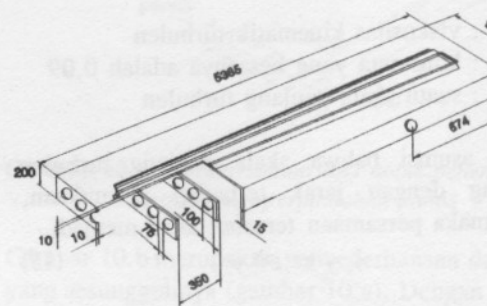
Sebagai contoh kasus dalam makalah ini adalah BAJ untuk pembuatan komponen pada pesawat terbang, yaitu *aft flap assy out trailing edge flap wing*. Komponen tersebut dijelaskan dengan gambar 14.



GAMBAR 14. Komponen Aft Flap Assy

Komponen tersebut terbuat dari Al T351 dengan tebal 1,5 mm dan *metallic honey core*.

Dalam pembuatan komponen ini diranca BAJ yang dapat dijelaskan dengan gambar berikut.



GAMBAR 15. Rancangan BAJ yang diajukan

Dalam pembuatan komponen ini, andaikan *heat up rate* (pemanasan BAJ) sebesar $5^{\circ}\text{C}/\text{menit}$, dimulai pada 49°C dan setelah mencapai 127°C pemanasan yang diberikan konstan. Proses ini dilakukan pada tekanan konstan (4 atm).

Sifat-sifat udara yang digunakan untuk memanaskan BAJ didapat dengan meninjau udara pada temperatur rata-rata ($T_m = 88^{\circ}\text{C} = 361\text{ K}$) dan tekanan 4 atm, yaitu^[4]

$$\begin{aligned} \rho &= 3,872\text{ kg} / \text{m}^3 \\ C_p &= 1010,1\text{ J} / \text{kg K} \\ v &= 5,3 \cdot 10^{-6}\text{ m}^2 / \text{s} \\ kf &= 30,84 \cdot 10^{-3}\text{ W} / \text{m K} \\ Pr &= 0,698 \end{aligned}$$

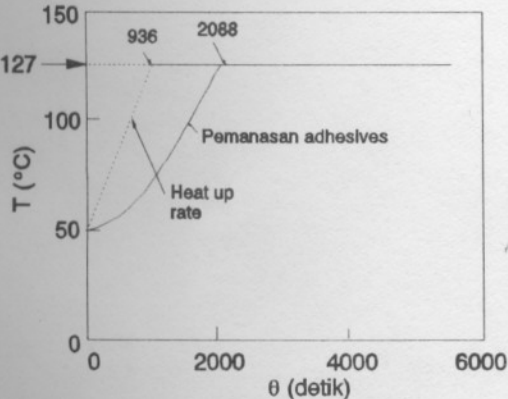
Kecepatan aliran udara yang digunakan dalam perhitungan adalah kecepatan udara dari *autoclaves* setelah kecepatannya konstan. Kecepatan aliran udara ini diandaikan sebesar 0,59 m/s.

Bahan dasar BAJ adalah Al 6061 T651, bahan kantong hampa *silicone rubber* dengan tebal 3 mm dan sebagai *protectives cover* digunakan *breather* dengan tebal 1 mm.

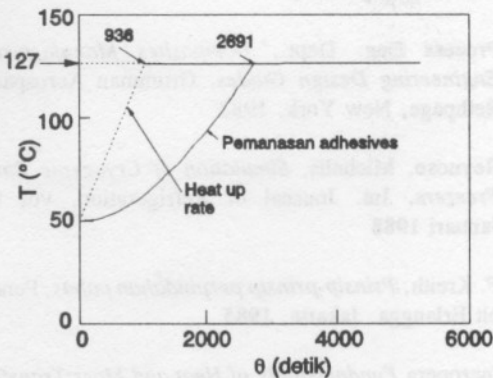
Massa BAJ sebesar 302,1 kg, massa pelat Aluminium 1 (bagian atas komponen) sebesar 3,8 kg, massa pelat Aluminium 2 (bagian bawah komponen) sebesar 3,8 kg, massa *breather* 1,15 kg dan massa kantong *silicone rubber* sebesar 16 kg.

Distribusi temperatur dan energi pemanasan *adhesives* dari arah BAJ dan kantong hampa berturut-turut dijelaskan dalam gambar 16, 17 dan 18.

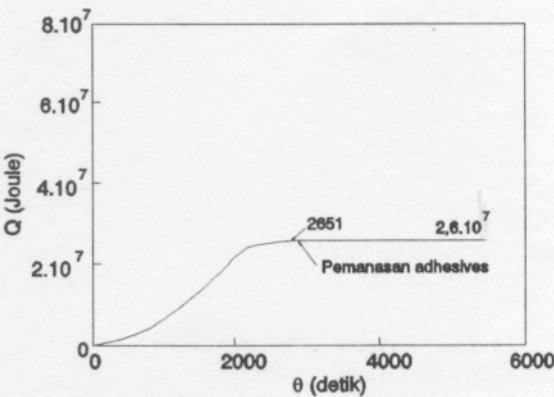
BAJ ini mempunyai jumlah tumpuan sewaktu proses *handling* dan *curing* sebanyak dua buah. Posisi untuk pengangkatan sewaktu proses *handling* berjarak 674 mm dari tepi. Defleksi sewaktu proses *handling* sebesar 10,83 mm. Ini berarti masih dibawah defleksi yang diijinkan, yaitu 14,96 mm.



GAMBAR 16. Pemanasan adhesives dari arah BAJ



GAMBAR 17. Pemanasan adhesives dari arah kantong hampa



GAMBAR 18. Energi pemanasan BAJ

KESIMPULAN

Dari pembahasan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa dalam proses perancangan *Bonding Assembly Jig* parameter perancangan perlu diketahui. Parameter yang berperan besar dalam perancangan BAJ adalah kekakuan dan perpindahan panas.

Performansi kekakuan yang berperan adalah kekakuan sewaktu proses *handling*, disamping kekakuan sewaktu proses *curing*. Dalam penentuan performansi kekakuan ini masalah penting yang harus diketahui adalah jumlah tumpuan sewaktu proses *handling* maupun proses *curing*.

Performansi perpindahan panas terutama dipengaruhi oleh bentuk rancangan *Bonding Assembly Jig*. Dalam hal ini bentuk alternatif rancangan BAJ 3 mempunyai performansi perpindahan panas yang paling baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Process Eng. Dept., *Composites Manufacturing Engineering Design Guides*, Grumman Aerospace, Bethpage, New York, 1983
2. Reynoso, Michelis, *Simulation of Cryogenic Batch Freezers*, Int. Journal of Refrigeration, vol 11, Januari 1988
3. F. Kreith, *Prinsip-prinsip perpindahan panas*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1985
4. Incropera, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, John Wiley & Sons, USA, third Edition, 1990
5. Launder, *On the Computational of Convective Heat Transfer in Complex Turbulent Flows*, Journal of Heat Transfer, Transaction of the ASME, vol 110, November 1988
6. Launder, Spalding, *Lectures in Mathematical Modelling of Turbulence*, Academic Press Inc., London, 1972
7. Gerald L. Schneberger, *Adhesives in Manufacturing*, Marcell Dekker Inc., New York and Basel, 1981