**BAB II**

**DASAR TEORI**

**2.1. Tinjauan Pustaka**

Pengujian kekuatan sambungan bambu sudah banyak dilakukan, diantaranya adalah pengujian yang dilakukan oleh Morisco (1996), dimana untuk meningkatkan kekuatan sambungan rangka kuda-kuda digunakan pengisi beton untuk daerah sambungan yang menerima gaya tekan dan pengisi kayu untuk daerah sambungan yang menerima gaya tarik. Sambungan bambu dengan pengisi beton biasa dapat dilakukan pada ujung-ujung batang yang tanpa buku. Sebagai bahan beton dapat dipakai semen, pasir, dan kerikil halus dengan diameter maksimum 5 mm. Sedangkan sambungan bambu dengan pengisi kayu digunakan kayu mutu tinggi yang sudah kering dan direkatkan dengan menggunakn resin. Hasil penelitiannya cukup memuaskan yaitu kekuatan sambungan bambu dengan pengisi dapat mencapai 4-8 ton.

 Pengujian kekuatan sambungan bambu juga dilakukan oleh Sugiartha (2007). Peneliti melakukan penelitian tentang Pengaruh Variasi Kayu Pengisi Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Bambu dengan Alat Sambung Baut, dengan mengambil variabel bebas berupa diameter bambu, tebal bambu, dan mutu kayu pengisi, sedangkan variabel tetap berupa diameter dan mutu baut. Hasil penelitian kekuatan tarik sambungan bambu berturut-turut untuk pengisi kayu Ipil, kayu Balam, dan kayu Bayur pada sudut sambungan 0° adalah 24,071 KN, 23,557 KN, 20,835 KN, pada sudut sambungan 30° adalah 18,280 KN, 17,025 KN, 13,623 KN, pada sudut sambungan 60° adalah 15,785 KN, 11,099 KN, 10,976 KN, sedangkan pada sudut sambungan 90° adalah 14,122 KN, 10,206 KN, dan 8,815 KN. Berdasarkan pengujian diketahui bahwa mutu kayu pengisi berpengaruh terhadap kuat tarik sambungan bambu.

 Sementara Marwansyah (2013), melakukan penelitian tentang Pengaruh Variasi Volume Pengisi Terhadap Kuat Tarik Sambungan Bambu Dengan Alat Sambung Baut. Peneliti memvariasikan volume pengisi bambu mulai dari 0 %, 31 %, 37 %, 54 %, 77 %, 100 % dan diperoleh kuat tarik maksimum untuk masing-masing prosentase adalah sebesar 1019,088 Kg, 1725,192 Kg, 2000,376 Kg, 2010,960 Kg, 2056,320 Kg,dan 2086,560 Kg. Kuat tarik tertinggi sambungan dengan pengisi bambu terdapat pada pengisi bambu 100 % dengan kuat tarik sebesar 2086,560 Kg.

 Destisari (2016), melakukan penelitian tentang Pengaruh Diameter Baut Pada Jarak Baut Ke Ujung Bambu Pada Sistem Sambungan Bambu. Peneliti memvariasikan diameter baut yaitu dari 8, 10, dan 12 mm dengan jarak kritis baut ke ujung bambu divariasikan sebesar 3D-6D sebanyak 3 sampel untuk setiap jarak. Dari hasil penelitian didapatkan kesimpulan yaitu dengan bertambahnya besar diameter baut maka menghasilkan jarak kritis yang semakin besar pula meskipun perbedaan hasilnya tidak terlalu signifikan.

**2.2. Landasan Teori**

**2.2.1. Bambu Galah ( *Gigantochloa atter* )**

 Bambu dengan nama botani *Gigantochloa atter* (Hassk.) Kurz ex Munro di Indonesia dikenal dengan nama bambu ater, sedang di berbagai daerah bambu tersebut dikenal dengan nama awi ater, pring jawa, pring legi, pereng keles, tereng galah, auloto, dan tabadiketul. Bambu ater dapat tumbuh di dataran rendah sampai dataran tinggi dengan ketinggian 750 m di atas permukaan air laut. Kulit batang berwarna hijau sampai hijau gelap. Tinggi batang dapat mencapai 22 m, panjang ruas 40-50 cm, diameter 5-10 cm, dan tebal dinding 8 mm (Morisco, 1999).

Dari hasil penelitian sifat mekaniknya, bambu ater memiliki kuat tarik tanpa buku sebesar 2.530 Kg/cm2 dan kuat tarik dengan buku sebesar 1.240 Kg/cm2. Sedangkan dalam pengujian untuk mengetahui kekuatan bambu bagian pangkal, tengah, dan ujung, bambu ater memiliki kekuatan tarik pada pangkal sebesar 1.920 Kg/cm2, pada tengah sebesar 3.350 Kg/cm2, dan pada ujung sebesar 2.324 Kg/cm2 (Morisco, 1999).

**2.2.2. Sifat fisik bambu**

Sifat fisik bambu galah adalah perilaku fisika bambu sebagai tanggapan terhadap perubahan kondisi atmosfir/udara yang ada di sekitarnya. Sifat fisik bambu dapat meliputi kadar air dan berat jenis. Secara anatomi dan kimiawi bambu dan kayu hampir sama, oleh karena itu faktor-faktor yang berpengaruh pada kayu juga berpengaruh pada sifat-sifat bambu (Liesse, 1980). Faktor-faktor ini adalah:

**2.2.2.1. Kadar air**

Kadar air bambu adalah nilai yang menunjukkan banyaknya air yang ada dalam bambu dengan berat kering tanurnya yang dinyatakan dalam prosentase. Banyak faktor yang mempengaruhi kadar air dalam bambu antara lain sifat anatomi bambu, umur bambu, waktu penebangan dan jenis bambu. Kadar air maksimum bahan yang baik untuk direkatkan adalah sebesar 19 % (Prayitno, 1996).. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat model benda uji kadar air pada Gambar 2.1. Secara umum untuk menghitung kadar air bambu digunakan Persamaan 2.1.

 $KA=\frac{B0-Bkt}{Bkt}X 100\%$ (2.1.)

dengan:

*KA* = kadar air (%)

*B*0 = berat awal bambu sebelum dioven (gr)

*B*kt = berat bambu kering tanur setelah dioven (gr)

 

Gambar 2.1. Benda uji kadar air dan berat jenis bambu

**2.2.2.2. Berat jenis**

Berat jenis bambu merupakan suatu nilai perbandingan antara kerapatan bambu dengan kerapatan benda standar pada suhu yang sama. Kerapatan sendiri dapat diartikan sebagai perbandingan massa suatu benda dengan volumenya. Air dengan kerapatan 1 gr/cm³ pada temperatur 4°C merupakan benda standar yang dimaksud. Semakin besar berat jenisnya maka semakin kuat pula bahan tersebut. Adapun model untuk benda uji berat jenis dapat dilihat pada Gambar 2.1. Penentuan berat jenis bambu diperoleh dengan Persamaan 2.2.

 (2.2.)

dengan:

*BJ* = berat jenis bambu

*B*kt = berat bambu kering tanur setelah dioven (gr)

*V0* = volume benda uji (mm3)

 = berat volume air (gr/mm3)

**2.2.3. Sifat mekanik bambu**

Sifat mekanik adalah sifat yang berhubungan dengan kekuatan bahan dan merupakan ukuran kemampuan suatu bahan untuk menahan gaya luar yang bekerja padanya. Gaya luar adalah gaya yang datangnya dari luar benda tersebut (membebani benda tersebut) dan cenderung merubah ukuran dan bentuk benda tersebut (Surjono, 1993). Pada penelitian ini, sifat-sifat mekanik bambu yang diteliti antara lain:

**2.2.3.1. Kuat tarik bambu**

Kuat tarik bambu adalah kekuatan bambu untuk menahan gaya-gaya yang berusaha menarik bambu tersebut. Yang paling menentukan dalam menghitung kuat tarik adalah luasan kritik, sehingga dalam perhitungan dipakai luasan tampang bersih (netto) dengan memperhitungkan pengaruh adanya lubang dan cacat yang ada. Sedangkan model benda uji untuk kuat tarik bambu itu sendiri dapat dilihat pada Gambar 2.2. Untuk menentukan tegangan tarik bambu digunakan Persamaan 2.3-2.4.

 $σtr//=\frac{Pmax}{A}$ (2.3.)

 (2.4)

dengan :

σtr / = kuat tarik bambu sejajar serat (N/mm2)

*Pmax* = beban maksimum (N)

*A*  = luas penampang (mm2)

*l* = lebar (mm)

*t*  = tebal (mm)



Gambar 2.2. Benda uji kuat tarik bambu

**2.2.3.2. Kuat geser bambu**

 Kuat geser bambu adalah suatu ukuran kekuatan bambu dalam menahan gaya-gaya yang membuat suatu bagian bambu tersebut menjadi tergelincir ataupun bergeser dari bagian lain yang ada di dekatnya. Adapun model untuk benda uji kuat geser bambu dapat dilihat pada Gambar 2.3. Untuk kuat geser bambu dapat dihitung dengan Persamaan 2.5-2.6.

 (2.5)

 (2.6)

dengan :

τ// = kuat geser bambu (N/mm2)

*Pmax* = beban maksimum (N)

*Ag* = luas penampang (mm2)

*P*  = panjang (mm)

*t*  = tebal (mm)



1. (b)

Gambar 2.3. Benda uji kuat geser bambu :

 (a) Spesimen uji geser

 (b) Luasan penampang geser

**2.2.3.3. Kuat lekat bambu**

 Kuat rekat bambu adalah besarnya kemampuan bambu dalam menahan gaya-gaya yang berusaha melepas rekatan antar lapisan rekatan bambu. Sedangkan model benda uji untuk kuat rekat bambu itu sendiri dapat dilihat pada Gambar 2.4. Untuk menentukan besarnya kuat rekat bambu digunakan Persamaan 2.7-2.8.

 (2.7)

 (2.8)

dengan:

*σlkt*// = kuat lekat bambu sejajar serat (N/mm2)

*Pmax* = beban maksimum (N)

*A* = luas penampang (mm)

*P*  = panjang (mm)

*l* = lebar (mm)



1. (b)

Gambar 2.4. Benda uji kuat rekat bambu :

 (a) Spesimen uji lekat bambu

(b) Luasan penampang geser uji lekat bambu

**2.2.4. Kuat tarik baut**

Kuat tarik baut adalah perbandingan antara beban maksimal yang mampu ditahan oleh baut dengan luas penampang baut tersebut. Model benda uji kuat tarik baut dapat dilihat pada Gambar 2.5. Sedangkan untuk menentukan besarnya kuat tarik baut digunakan Persamaan 2.9-2.10.

 (2.9)

 (2.10)

dengan:

 = kuat tarik baut (N/mm2)

*P*max = beban maksimum (N)

*A*  = luas penampang (mm2)

*d* = diameter baut (mm)



 Gambar 2.5. Benda uji kuat tarik baut

**2.2.5. Aluminium**

**2.2.5.1. Umum**

Aluminium adalah logam yang memiliki kekuatan yang relatif rendah dan lunak. Aluminium merupakan logam yang ringan dan memiliki ketahanan korosi yang baik, hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat yang lainnya. Umumnya aluminium dicampur dengan logam lainnya sehingga membentuk aluminium paduan. Adapun jenis aluminium tuang yang mempunyai kekuatan tarik sebesar 100 Mpa dengan regangannya 18-25% dan aluminium tempa yang mempunyai kekuatan tarik sebesar 180-280 Mpa dengan regangannya 3-5%. Material ini dimanfaatkan bukan saja untuk peralatan rumah tangga, tetapi juga dipakai untuk keperluan industri, konstruksi, dan sebagainya (Surdia,1992). Sedangkan ukuran pelat aluminium standar dari pabrik antara 100 cm x 200 cm, 120 cm x 240 cm dan 122 cm x 244 cm, dengan standar ketebalannya antara 0,3 mm s/d 6,0 mm.

**2.2.5.2. Klasifikasi Aluminium**

Secara umum Aluminium diklasifikasikan berdasarkan :

a. Aluminium Murni

Aluminium 99% tanpa tambahan logam paduan apapun dan dicetak dalam keadaan biasa, hanya memiliki kekuatan tensil sebesar 90 MPa, terlalu lunak untuk penggunaan yang luas sehingga seringkali aluminium dipadukan dengan logam lain.

 b. Aluminium Paduan

Elemen paduan yang umum digunakan pada aluminium adalah silikon, magnesium, tembaga, seng, mangan, dan juga lithium sebelum tahun 1970. Secara umum, penambahan logam paduan hingga konsentrasi tertentu akan meningkatkan kekuatan tensildan kekerasan, serta menurunkan titik lebur. Jika melebihi konsentrasi tersebut, umumnya titik lebur akan naik disertai meningkatnya kerapuhan akibat terbentuknya senyawa,kristal, atau granula dalam logam. Namun, kekuatan bahan paduan aluminium tidak hanya bergantung pada konsentrasi logam paduannya saja, tetapi juga bagaimana proses perlakuannya hingga aluminium siap digunakan, apakah dengan penempaan, perlakuan panas, penyimpanan, dan sebagainya.

**2.2.5.3. Kuat tarik Aluminium**

Tujuan dilakukan pengujian kuat tarik aluminium pada penelitian ini adalah untuk mengetahui kekuatan yang pasti dari aluminium yang digunakan. Hal ini mengingat kekuatan aluminium yang bervariasi tergantung dari paduannya. Ketidakpastian kekuatan ini akan menyulitkan ketika akan melakukan analisis kekuatan sambungan berdasarkan kegagalannya.

Oleh karena itu diperlukan data yang lebih spesifik berdasarkan jenis bahan yang digunakan. Untuk menentukan kuat tarik aluminium digunakan Persamaan 2.11-2.12. Model benda uji kuat tarik aluminium dapat dilihat pada Gambar 2.6.

 $σ=\frac{P}{A}$ (2.11.)

 (2.12)

dengan :

*σ* = kuat tarik Aluminium (N/mm2)

*P* = beban maksimum (N)

*A* = luas penampang (mm2)

*l* = lebar (mm)

*t*  = tebal (mm)



Gambar 2.6. Benda uji tarik aluminium

**2.2.6. Perekat epoksi dan teori perekatan**

Melamin glue (*melamin formaldehida* atau *resin*) merupakan perekat sintetik yang memiliki sifat khusus, tahan terhadap air dan stabil terhadap panas. Pada suhu rendah daya rekatnya tidak berubah sehingga sedikit memerlukan ion hidrogen didalam bahan katalitasnya (Tano, 1995 dalam Kusumawaty, 2004). Oleh karena itu perekat epoksi cocok digunakan sebagai perekat bahan struktural.

Resin epoksi merupakan bahan perekat sintetik yang banyak digunakan untuk berbagai keperluan termasuk untuk konstruksi bangunan. Keyakinan akan pentingnya peran epoksi untuk keperluan bangunan dalam proses modernisasi menghasilkan suatu pendekatan khusus yakni pendekatan aplikasi terhadap pemakaian perekat epoksi di dalam konstruksi bangunan. Harga resin epoksi cukup mahal, oleh karena itu kinerja penggunaannya cukup tinggi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.7 jenis perekat epoksi yang digunakan.



Gambar 2.7. Perekat epoksi

 Adapun beberapa kelebihan dari perekat jenis *melamine formaldehida* ini yaitu :

 a. Garis perekat yang tahan terhadap perlakuan air mendidih ( 3 jam tes rebus air hingga mendidih ).

 b. Lebih stabil dan mantap pada suhu yang ekstrim atau tinggi.

 c. Mempunyai kemampuan mengeras pada suhu yang rendah.

 d. Mudah dicur dan pada suhu rendah daya rekatnya tidak berubah sehingga memerlukan ion hidrogen di dalam bahan katalisnya.

Teknik perekatan dengan bahan porous memerlukan alat pengempaan. Sistem pengempaan dapat dilakukan dengan tekanan panas ( *hot pressing* ) atau kempa dingin ( *cold pressing* ). Pengempaan panas memerlukan waktu yang relatif singkat, namun secara teknik sulit dilakukan untuk merekatkan bambu. Pengempaan dingin memerlukan waktu yang lebih lama. Perekatan berfungsi sebagai penggabung antara dua substrat yang akan direkat. Dalam perekatan dikenal beberapa teori perekatan yaitu :

 a. *Mechanical adhesion*

Perekatan mekanik berarti bahwa perekatan dapat terjadi karena gaya perekatan yang disebabkan oleh suatu mekanisme meresapnya perekat ke dalam tubuh substrat, mengeras, dan mengakibatkan suatu kondisi *interlocking* atau pencengkraman perekat ke dalam tubuh bahan yang direkat.

 b. *Sfecific adhesion*

Perekatan spesifik terjadi karena kekuatan tarik menarik atau kekuatan adhesi molekul-molekul perekat dengan molekul-molekul substrat.

Teknik perekatan yang baik akan mampu memberikan hasil yang baik. Menyatakan teknik perekatan sangat didukung oleh dua pokok pekerjaan yaitu :

 a. Persiapan perekatan

Perekatan berfungsi sebagai penggabung antara dua substrat yang akan direkat.Kualitas ini biasanya mampu jauh melebihi daya kohesi kayu bila cara-cara perekatan diikuti sesuai dengan prosedur yang telah dikeluarkan oleh pabrik-pabrik pembuat perekat yang sedang dipergunakan ataupun petunjuk-petunjuk yang dikeluarkan oleh lembaga-lembaga riset perekat dan teknik-teknik perekatan.Prosedur pencampuran suatu jenis perekat biasanya diberikan atau direkomendasikan oleh pabrik pembuatnya dalam bentuk langkah prosedur atau uraian tertentu. Berikut ini merupakan cara-cara pencampuran perekat secara umum yang sering dilakukan :

1. Timbang sejumlah dua pertiga bahan perekat yang akan dipakai ke dalam pencampur (biasanya dihitung berdasarkan persentase bahan padat atau bahan bukan pelarut.
2. Timbang bahan tambahan seperti pengisi (*filler*), pengembang (*extender*), pengeras (*hardener*), katalisator (*catalyst*) dan pengawet (*preservative*) serta bahan lain yang diperlukan, dan kemudian dicampur dengan perekat terdahulu.
3. Aduk bahan adonan perekat tersebut sampai tidak menunjukkan gumpalan (*lump free condition*).
4. Tambahkan sisa sepertiga bahan perekat bersama-sama dengan air yang diperlukan.
5. Aduk sampai tidak ada gumpalan.

Perekat yang telah dibuat adonannya seperti yang diuraikan di atas, seharusnya langsung dilaburkan pada bahan yang direkat.Hal ini disebabkan karena adonan perekat tertentu mempunyai batas waktu labur yang disebut dengan *pot life.* Bila lama waktu ini dilampaui, maka perekat akan rusak dan adonan perekat menuju tingkat kondisi filterisasi atau mungkin langsung mengalami pengerasan awal sehingga tidak mampu dilaburkan kembali karena sudah terlampau kental.

 b. Pengempaan

Pengempaan produk perekatan bertujuan untuk memberikan penekanan yang cukup kuat dan seragam serta homogen pada semua permukaan bahan yang direkat. Pengempaan juga bertujuan agar penekanan perekat mengaliri sisi (*flow*) atau meresap kebahan yang direkat (*penetration*). Sistem pengempaan dapat dilakukan dengan tekanan panas atau tekanan dingin (Prayitno, 1996).

 Dalam pelaburan perekat digunakan istilah *glue spread*, yaitu jumlah perekat yang dilaburkan per satuan luas permukaan bidang rekat. Jumlah perekat yang dilaburkan menggambarkan banyaknya perekat terlabur agar tercapainya garis perekat yang pejal dan kuat. Satuan luas permukaan rekat ditentukan dengan satuan inggris yakni seribu kaki persegi (1000 *square feet*) dengan sebutan MSGL (*Mutilayer Single Glue Line)* yang dinyatakan dalam satuan pound (lbs). Bila kedua bidang permukaan dilabur maka disebut MDGL (*Mutilayer Double Glue Line)*. Satuan perekat dikonversikan menjadi lebih sederhana yang disebut GPU (*gram pick up).* Untuk menghitung GPU digunakan Persamaan 2.13.

 $GPU=\frac{S x A}{2048,2}$ (2.13.)

dengan :

GPU = *gram pick up* (gr)

*S* = perekat dilaburkan dalam pound/MSGL atau pound/MDGL

*A* = luas permukaan yang akan direkat (cm2)

**2.2.7. Sambungan berpengisi**

Bambu mempunyai kekuatan tarik sangat tinggi tetapi lemah terhadap geser. Dalam struktur kayu penyambungan seringkali dilakukan dengan baut ataupun pasak. Penyambungan ini akan menimbulkan tegangan tumpu dan tegangan geser pada batang struktur yang disambung. Mengingat bambu sangat lemah terhadap geser, maka perlu diupayakan agar gaya yang disalurkan lewat alat sambung itu tidak sepenuhnya dipikul oleh kekuatan geser bambu. Untuk itu rongga bambu pada sambungan diisi dengan bahan lain yang dapat menjadi satu kesatuan dengan bambu, sehingga merupakan struktur komposit sekalipun hanya setempat saja. Dengan demikian gaya yang disalurkan oleh baut akan dilawan secara komposit dan hanya sebagian kecil gaya menimbulkan tegangan geser pada bambu.

Sebagai struktur komposit maka pengisi yang dipakai harus mempunyai hubungan yang erat dengan bambu bagian dalam.Sebagai alternatif pertama, pengisi rongga bambu itu dapat berupa kayu atau dari jenis bambu itu sendiri yang direkatkan pada sisi dalam bambu dengan resin. Untuk memperoleh kekuatan sambungan yang tinggi maka penyambungan memakai resin harus dilakukan pada bambu dan pengisi yang sudah kering. Pemilihan resin sebagai perekat ini didasarkan pada sifat resin yang tahan air sehingga rekatannya tidak lepas karena basah. Selain itu resin sebelum mengeras berupa cairan yang mudah meresap dan mengisi celah-celah antara kayu dan bambu.

**2.2.8. Persyaratan dan kekuatan sambungan baut**

Untuk alat sambung baut umumnya terbuat dari baja lunak dengan kepala berbentuk *hexagonal, sguare, dome,* atau *flat*. Diameter baut berkisar antara ¼” sampai dengan 1.25”. Untuk kemudahan pemasangan , lubang baut diberi kelonggaran 1 mm. Alat sambung baut biasanya digunakan pada sambungan dua irisan dengan tebal minimum kayu samping adalah 30 mm dan kayu tengah adalah 40 mm dan dilengkapi cincin penutup ( Awaludin,2005 ).

 Jarak tepi, jarak ujung dan persyaratan spasi untuk sambungan dengan baut telah diatur dalam peraturan SNI 03-2000 (Tata Cara Perencanaan Struktur Kayu untuk Bangunan Gedung) dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Jarak tepi, jarak ujung dan persyaratan spasi untuk sambungan baut.

|  |  |
| --- | --- |
| Beban Sejajar Arah Serat | Ketentuan Dimensi Minimum |
| Jarak Tepi (*bopt*) |   |
|   *lm*/D≤6 (lihat Catatan 1) | 1,5D |
|   *lm*/D˃6 | yang terbesar dari 1,5D atau ½ jarak antar baris alat pengencang tegak lurus serat |
|   |
| Jarak ujung (*ɑopt*) |   |
|  Komponen Tarik | 7D |
|  Komponen Tekan | 4D |
| Spasi (*sopt*) |   |
|  Spasi dalam baris alat pengencang  | 4D |
|  Jarak antar baris alat pengencang  | 1,5D<127 mm(lihat Catatan 2 dan 3) |
| Sumber : SNI 03-2000 (Tata Cara Perencanaan Struktur Kayu untuk Bangunan Gedung) |
|
| catatan : |  |
| 1. *lm* adalah panjang pasak pada komponen utama pada suatu sambungan atau panjang total pasak pada komponen sekunder pada suatu sambungan. |
|
| 2. Diperlukan spasi yang lebih besar untuk sambungan yang menggunakan ring. |
| 3. Untuk alat pengencang sejenis pasak, spasi tegak lurus arah serat antar alat-alat pengencang terluar pada suatu sambungan tidak boleh melebihi 127 mm, kecuali bila digunakan. |
|
|
|

Untuk menentukan kekuatan sambungan maka perlu dibuat persamaan-persamaan yang berkaitan dengan kekuatan yang dipengaruhi oleh ukuran serta kekuatan komponen sambungan. Prinsip persamaan-persamaan berikut diambil dari prinsip persamaan yang diajukan Morisco (1996). Mengingat model pengujian Morisco (1996) adalah pelat ganda dan pengisi dari mortar dan kayu, maka persamaan-persaman ini kemudian disesuaikan untuk model sambungan tunggal dengan celah pada tengah-tengah diameter bambu dan pengisi dari bambu. Penjabaran persamaan-persamaan kekuatan sambungan dapat diberikan sebagai berikut.

 Kegagalan sambungan dapat terjadi jika tegangan tumpu yang terjadi antara baut dengan bambu serta pengisinya melampaui batas. Selanjutnya kegagalan macam ini disebut dengan kegagalan tipe I. Dalam hal ini kekuatan sambungan P1 dapat diperoleh dari Persamaan 2.14.

P1= (d1 - t2) d2 fb (2.14.)

 Kegagalan tipe II terjadi jika tegangan tumpu yang melewati batas itu timbul antara baut dan pelat buhul. Kekuatan sambungan P2 dapat dihitung dengan Persamaan 2.15.

P2 = t2 d2 fs (2.15.)

Kegagalan tipe III terjadi jika tegangan lentur pada baut melampaui batas, sehingga pada baut telah terjadi momen plastis dengan ujung-ujung terjepit sempurna. Kekuatan sambungan dapat dinyatakan dengan Persamaan 2.16.

P3 = (2.16.)

 Kegagalan baut yang lain disebabkan oleh tegangan geser pada baut yang berlebihan. Kegagalan ini disebut sebagai kegagalan tipe IV. Kekuatan sambungan tipe ini P4 dapat diperoleh dengan Persamaan 2.17.

P4 = (2) (0,25) (π)  fv (2.17.)

dengan :

*P* = kekuatan maksimum sambungan untuk satu baut (N)

fc = kuat tumpu pengisi (Mpa)

fb = kuat tumpu bambu (Mpa)

fs = kuat tumpu pelat (Mpa)

fy = tegangan leleh baut (Mpa)

fv = kuat geser pelat (mm)

d1 = diameter bambu (mm)

d2 = diameter baut (mm)

t1 = tebal bambu (mm)

t2 = tebal pelat (mm)

Adapun berbagai pola kegagalan yang terjadi pada sambungan bambu celah berpengisi dapat dilihat pada Gambar 2.8 dengan mengadopsi kegagalan yang terjadi pada sambungan kayu dengan pengencang baut, sebagaimana dijelaskan dalam SNI 7973-2013 tentang spesifikasi desain untuk konstruksi kayu. Berdasarkan Gambar 2.8 dan penjabaran mengenai kekuatan sambungan di atas, bisa disimpulkan bahwa desain kekuatan sambungan diambil berdasarkan kegagalan yang terjadi pada bahan penyusun sambungan yang telah mengalami keruntuhan.





Kegagalan tipe I KegagalantipeII Kegagalan tipe III Kegagalan tipe IV

Gambar 2.8. Berbagai tipe kegagalan yang terjadi pada sambungan