KEGAGALAN PATAH MATERIAL PADA KONSTRUKSI BAJA AKIBAT KONDISI KERJA YANG BURUK

Sahlan
sahlan_1956@yahoo.com
Teknik Mesin STT-PLN

ABSTRAK

Perkembangan dalam wawasan patah mekanis sudah banyak membantu mengungkapkan beberapa kasus akibat kondisi kerja buruk makin meningkat. Dalam pandangan kami timbul pertanyaan bagaimana bisa terjadi kegagalan material, dan dalam batas kemampuan berfikir tentunya bagaimana mencegah patah pada material. Patah mekanis seperti itu sudah menjadi perhatian para ilmuan sejak Perang Dunia ke Dua. Banyak kasus dan permasalahan untuk dipelajari. Namun, tentunya bagaimana ilmu pengetahuan dapat tampil untuk mengungkapkan mekanis kepatahan, dan tidak selalu dipergunakan bilamana dapat terungkap. Langkah pertama yang cepat, dicari jalan keluar, dibuat prosedure yang cukup untuk mencegah kegagalan, namun apabila diruntun satu persatu, maka ada bagian-bagian dari kegagalan material lebih disebabkan oleh kesalahan manusia, karena ketidak tahuan, atau perilaku buruk. Miskin pengalaman, kurang ahli atau penggunaan material yang dibawah setandar, kesalahan didalam menganalisis tegangan, dan kesalahan operator sebagai contoh bentuk dukungan kemampuan teknologi dan pengalaman yang tersedia yang tidak tersedia.

Kata kunci : *Steel constructions, mechanical failures, willful misconduct.*

ABSTRACT

Advanced in the field of fracture mechanics have helped to offset some of the potential dangers posed by increase technologycomplexity. Our understanding of how materials fail and our ability to prevent such failures has increased considerably since World War II. Much remains to be learned, however, and existting knowledge of fracture mechanics is not always applied when appropriate. In the first instance, existing procedures are sufficient to avoid failure, but are not followed by one ore more of the parties involved, due to human error, ignorance, or willfull misconduct. Poor workmanship, inappropriate, or substandard materials, error in stress analysis, and operator error are examples of where the appropriate technology and experience are available, but not applied.

Keywords: *Steel constructions, mechanical failures, willful misconduct.*

1. Pendahuluan

Sejak Perang Dunia II sudah banyak orang melakukan penelitian untuk mengungkapkan patah material pada konstruksi baja akibat kondisi kerja yang buruk (*willfull misconduct*). Kondisi kerja yang buruk seperti kesalahan manusia (*human error*), rendahnya kemampuan tenaga kerja, pemakaian bahan konstruksi tidak sesuai standar, kesalahan dalam menganalisis tegangan, dan kurangnya pengetahuan dan teknologi material. Patah material pada umumnya lebih banyak disebabkan oleh kerusakan mekanis, yang dapat dicegah dengan memperbaiki desain konstruksi dan pemilihan bahannya.

Teknologi bahan adalah salah satu alternatif untuk menghindari patah bahan, namun, konsekuensinya adalah dalam perancangan yang baru bahan haru ditempatkan kedalam keadaan kerja mekanis yang proporsional. Artinya bahan dan konstruksi dilakukan pengujian dan analisis yang seteliti dan seakurat mungkin. Pengamatan dan analisis selama pengujianakan berdampak mengurangi patah akibat salah tafsir. Sebagai contoh dalah konstruksi baja yang desainnya mengandalkan kekuatan sambungan las. Kecerobohan operator las dan ditambah pengamatan inspektur las yang salah tafsir, pada salah satu bagian saja maka dapat berakibat kegagalan total konstruksi baja tersebut.

Contoh, agar aman, suatu pengamatan dan penelitian dini dapat dilakukan pada konstruksi baja, yaitu terlebih dahulu membuat suatu percobaan kemampuan dengan desain simulasi yang menggunakan program desain elemen tak hingga (*finite elemens*) didalam peragaan gambar di komputer. Disini akan nampak pada setiap bagian kerja konstruksi kelemahan menerima beban operasi kerja. Kondisi sebenarnya tentunya mendekati atau hampir seperti pada simulasi desain elemen hingganya. Dalam simulasi analisis elemen hingga, tentu hubungan kuantitatif antara tegangan patah atau retak dan ukuran cacat dalam aplikasi analisis tegangan tentu merupakan ilustrasi gambaran perambatan retak pada keadaan tidak stabil.

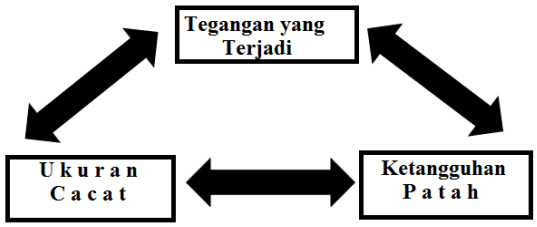
Pendekatan kegagalan material pada konstruksi baja, secara garis besar disebabkan pada kemungkinan:

- Kegagalan mekanis yang disebabkan oleh kesalahan desain.
- Pengaruh perilaku material yang menyebabkan kerusakan.

2. Pendekatan Desain

Bila kita perhatikan Gambar 1, konstras sekali pendekatan kegagalan mekanis dengan pendekatan tradisional untuk desain struktur dan pemilihan bahan. Dan kemudian terhadap tegangan desain prakiraan dibandingkan dengan perilaku aliran material yang diunggulkan, maka material yang diasumsikan dianggap setara, yang mana tegangannya lebih besardari pada tegangan perkiraan yang terjadi. Prakiraan untuk dapat mencoba untuk melindungi agar tidak terjadi kerusakan rapuh kembali oleh kemungkinan faktor keamanan pada tegangan, yang dikombinasikan pemuluran tegangan tarik minimum yang dibutuhkan pada material. Pendekatan kerusakan mekanis (Gambar 1b) mempunyai tiga variable penting dari pada tegangan yang bekerja, dan, atau tegangan tarik atau luluh (Gambar 1a). Variabel struktur yang dimaksudkan disini tidak lain adalah ukuran cacat, dan tegangan pergeseran ketangguhan kerusakan sebagai perilaku material yang relevan. Kuantitatif kerusakan mekanis merupakan kombinasi keadaan kritis pada ketiga variabel ini.

(a). Tegangan terhadap pendekatan pemilihan bahan



(b). Pendekatan kerusakan mekanis

Gambar 1:
Perbandingan patah mekanis terhadap pendekatan desain

Ada dua cara atau pendekatan alternatif untuk menganalisis patah, yaitu pendekatan kriteria energi dan intensitas tegangan. Dua pendekatan adalah merupakan ekivalen didalam lingkaran tertentu. Dua diskusi akan diuraikan dibawah ini.

a). Berbasis Energi

Ketetapan pendekatan analisis terhadap energi , bahwa terjadinya pengembangan retak terjadi bilamana energi yang tersedia untuk pertumbuhan retak cukup untuk melawan ketahanan material. Ketahanan material disini tercakup didalam energi permukaannya, daerah kerja plastis, atau jenis lainnya yang dapat menyerap energi saat terjadi retak berlanjut.

Kebutuhan energi untuk terjadi patah pada material, yang utama adalah mampu untuk meningkatkan retak lanjutan, yang mana harga rata-rata energi yang terbuang, G, yang mana didefinisikan sebagai perubahan rata-rata didalam energi potensial dengan area retak untuk elastis linier bahan. Pada saat terjadi patah, $G = G_c$, adalah rata-rata energi kritis yang terbuang, yang mana ini diukur pada ketangguhan patah.

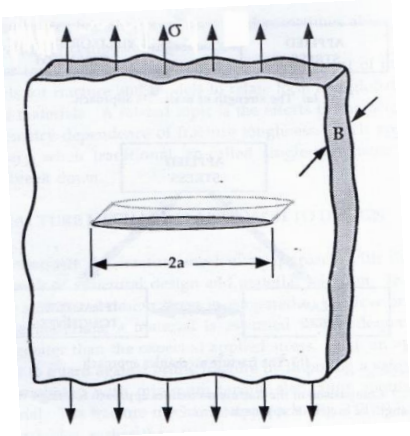
Untuk retak panjang $2a$ didalam benda kerja berbentuk plat lembaran untuk bisa mengkontrol tegangan tarik (Gambar 2), energi yang dilepaskan rata-rata adalah merupakan hubungan:

$$G = \frac{\pi \sigma^2 a}{E} \quad \text{..... (1)}$$

Dimana E adalah modulus Young, σ adalah tegangan yang bekerja, dan a adalah setengah panjang retak. Saat patah, $G = G_c$ dan dari Persamaan (1) menunjukkan kombinasi kritis tegangan dan ukuran retak untuk suatu kegagalan:

$$G_c = \frac{\pi \sigma_f^2 a_c}{E} \quad \text{.....(2)}$$

Catatan bahwa untuk konstanta Nilai G_c, tegangan kegagalan atau yang menyebabkan kerusakan, σ_f berbanding lurus terhadap $1/\sqrt{a}$. Rata-rata energi yang terbuang, G adalah merupakan gaya penggerak untuk patah, dimana G_c adalah ketahanan material untuk patah. Untuk menggambarkan analogis tegangan material yang mendekati Gambar 1 (a), tegangan yang bekerja dapat digambarkan sebagai gaya penggerak atau pendorong untuk bisa terjadinya deformasi plastis, yang mana tegangan luluhnya diukur atau dibandingkan terhadap ketahanan material untuk terjadi deformasi.



Gambar 2: Retak ketebalan lurus didalm benda kerja berbentuk lembaran plat

Analoginya untuk tegangan tarik juga bisa dipergunakan untuk ilustrasi konsep kemiripan. Artinya harga tegangan luluh diukur dengan spesimen di laboratorium kemudian diterapkan untuk struktur yang lebih besar. Tegangan luluh tidak secara otomatis bergantung pada ukuran spesimen uji, namun bergantung pada material yang tersedia sebagai hasil analisis sesungguhnya. Satu asumsi yang mendasar, patah mekanis adalah itu merupakan ketangguhan untuk patah (dalam hal ini G_c) adalah bebas terhadap ukuran dan bentuk geometrinya pada daerah retakannya. Ketangguhan patah diukur pada spesimen di laboratorium yang nantinyan merupakan dapat diterapkan di struktur yang sebenarnya. Selama asumsi ini nyata dan benar maka pengaruh seluruh konfigurasi yang dipakai didalam perhitungan untuk gaya penggerak, G. Kemiripan asumsi valid selama perilaku material didominasi oleh elastis linier.

b). Intensitas Tegangan

Gambar skematis (Gambar 3) menunjukkan satu potongan bagian elemen dekat daerah retakan didalam material elastis, bersama-sama dengan tegangan-tegangan dalam satu bidang dalam satu bidang potongan. Catatan disini bahwa pada setiap komponen tegangan, proporsional untuk membentuk satu konstanta tunggal, K_I. Bila konstanta ini diketahui, seluruh penyebaran tegangan pada titik retakan dapat dihitung dengan Persamaan seperti pada Gambar 3. Konstanta ini disebut faktor intensitas, karakteristik lengkapnyapada keadaan titik retakan didalam material elastis linier. Apabila satu asumsi bahwa material gagal melokalisir pada beberapa daerah kombinasi kritis tegangan dan regangan, kemudian diikuti bahwa patah pasti terjadi pada intensitas tegangan kritis, K_{IC} , maka K_{IC} adalah merupakan pengukuran alternatif ketangguhan patah.

Untuk lembaran plat diilustrasikan didalam Gambar 2, faktor intensitas tegangan diberikan dalam persamaan:

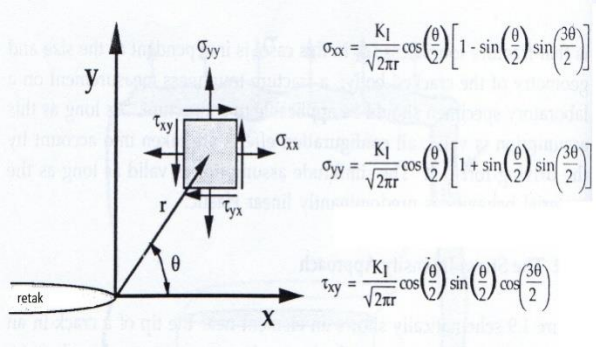
$$K_I = \sigma\sqrt{\pi a} \quad \text{..... (3)}$$

Kegagalan yang terjadi bila $K_I = K_{IC}$. Dalam hal ini, K_I adalah gaya dorong untuk patah, dan K_{IC} adalah pengukuran ketahanan material. Sebagai G_C, perilaku yang sama dapat dipergunakan untuk K_{IC}. Bahwa kemudian K_{IC} diasumsikan untuk dijadikan ukuran sembarang untuk perilaku bahan dapat dianggap sesuai.

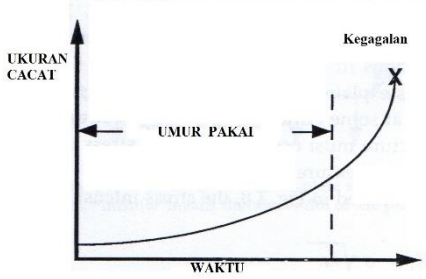
Perbandingan Persamaan (1) dan (3) menghasilkan hubungan antara K_I dan G seperti:

$$G = \frac{K_I^2}{E} \quad \text{..... (4).}$$

Hubungan yang sama jelas dapat dipegang untuk G_C dan K_{IC}, maka energi dan tegangan intensitas mendekati patah mekanis adalah merupakan ekivalen esensial untuk material elastis linier.



Gambar 3:
Tegang dekat titik retak dalam material elastis



Gambar 4:
Pendekatan toleransi kerusakan untuk desain

c). Toleransi Kerusakan

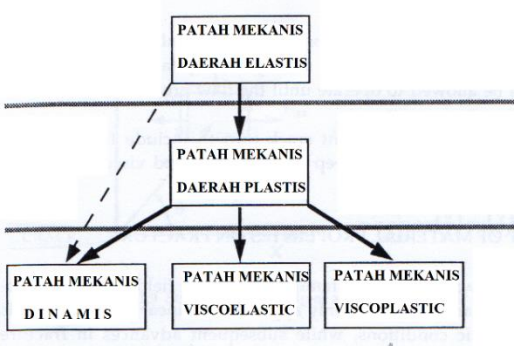
Memperhatikan terjadinya cacat didalam struktur, yang mana pertumbuhannya sesuai dengan berjalannya waktu (sebagai contoh retak lelah atau retak korosi) seperti yang diilustrasikan dalam gambar skematis dalam Gambar 4. Apabila ketangguhan patah material sudah diketahui, patah mekanis mempunyai hubungan estimasi ukuran cacat kritis yang dibutuhkan untuk menyebabkan patah dalam struktur. Normalnya, ukuran cacat yang diperkenankan atau yang diijinkan akan didefinisikan oleh hasil pembagian ukuran kritis dengan faktor keamanan. Struktur akan diperkenankan untuk dipergunakan sampai pertumbuhan cacat mencapai ukuran maksimum yang diperbolehkan.

Sebagai contoh, pertumbuhan retak bergantung pada waktu termasuk didalamnya pengaruh kelelahan, retak karena faktor lingkungan, pertumbuhan retak creep, dan pertumbuhan retak viscoelastis.

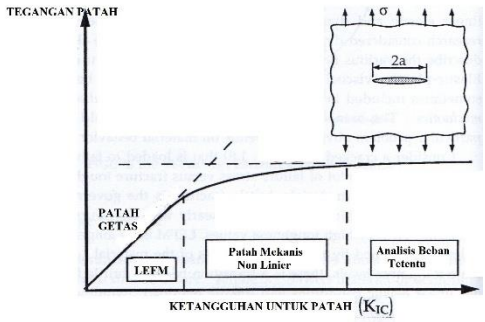
3. Pengaruh sifat Material

Gambar 5 menunjukkan Tiga Pohon Bersaudara (*The Family Tree*) untuk daerah patah mekanis. Kebanyakan, kerja awal adalah penyesuaian untuk material elastis linier dibawah kondisi statis, yang mana berikut berkembang dalam penelitian patah yang kemudian dikaitkan dengan pada jenis material yang lainnya terhadap sifat material. Patah mekanis elastis-plastis pertimbangannya adalah untuk analisis

deformasi plastis dibawah kondisi statis, seperti kejadian patah mekanis viskoplastis, viskoelastis, dan dinamais yang mempunayi hubungan waktu sebagai variabelnya. Garis lurus adalah garis antara elastis linier dan patah mekanis dinamis yang menyebabkan beberapa penelitian sebelumnya mempertimbangkan pada sifat elastis linier dinamis Beberapa jenis variasi sifat patah seperti terlihat pada Gambar 5, sifat patah viskoelastis, viskoplastis, dan elastis-plastis suatu saat tercakup didalam penelitian patah mekanis nonlinier. Cabang dari pada patah mekanis salah satunya akan dipergunakan didalam problim khusus secara gamblang bergantung pada sifat materialnya.



Gambar 5: Tiga pohon bersaudara yang menunjukkan patah mekanis.



Gambar 6: Peta skematis tegangan patah

Mengamati pada plat yang retak (Gambar 2), bebanlah yang menyebabkan patah. Gambar 6 merupakan peta skematis tegangan patah terhadap ketangguhan patah $\left(K_{IC}\right)$. Untuk material dengan ketangguhan rendah, patah getas adalah merupakan mekanisme kegagalan tidak terukur, dan tegangan kitisnya merupakan variasi linier terhadap K_{IC}, sebagai prediksi oleh Persamaan (3). Pada harga ketangguhan yang sangat tinggi LEFM (*Linear Elastic Fracture Mechanics*) yaitu menghentikan proses terjadinya deformasi plastis yang menyebabkan kegagalan, tidak panjang daerah retaknya dan kegagalannya terkendali oleh sifat aliran material. Pada tingkatan ketangguhan pada ambang batas, disana ada transisi antara patah getas dibawah kondisi elastis linier dan beban lebih (*overload*) ulet. Patah mekanis nonlinier menjembatani gap antara LEFM dan batas collapse. Apabila ketangguhannya rendah, LEFM sangat serasi untuk menyelesaikan problem ini, namun bila ketangguhan nyata-nyata tinggi, patah mekanis berhenti untuk relevansi ke problem, sebab tegangan kerusakan akan menjadi kebal terhadap ketangguhan. Analisis beban terbatasydengan kang sederhana adalah semuanya merupakan keperluan untuk memprediksi tegangan kegagalan didalam material dengan ketangguhan patah yang sangat tinggi.

4. Kesimpulan

Kegagalan Patah Material pada Konstruksi Baja Akibat Kondisi Kerja Buruk, seperti kesalahan manusia (*human error*), rendahnya kemampuan tenaga kerja, pemakaian bahan konstruksi tidak sesuai standar, kesalahan dalam menganalisis tegangan, dan kurangnya pengetahuan dan teknologi material lebih disebabkan oleh kerusakan mekanis, yang dapat dicegah dengan memperbaiki desain konstruksi dan pemilihan bahannya. Pendekatan kegagalan material pada konstruksi baja, secara garis besar disebabkan pada kemungkinan, pertama: Kegagalan mekanis yang disebabkan oleh kesalahan desain. Kedua: Pengaruh perilaku material yang menyebabkan kerusakan fatal.

Dimana ketetapan pendekatan analisis terhadap energi terjadinya kerusakan lebih disebabkan:

- Pengembangan atau penjalaran retak terjadi bilamana energi yang tersedia untuk pertumbuhan retak cukup untuk melawan ketahanan material. Ketahanan material disini tercakup didalam energi permukaannya, daerah kerja plastis, atau jenis lainnya yang dapat menyerap energi saat terjadi retak berlanjut.
- Patah mekanis elastis-plastis, dimana untuk analisis deformasi plastis dibawah kondisi statis, seperti kejadian patah mekanis viskoplastis, viskoelastis, dan dinamais harus mempunayi hubungan atau korelasi terhadap waktu sebagai variabelnya.

Daftar Pustaka

Areview of Engineering Approaches to Design Againts Fracture, American Society of Mechanical Engineers, New York, 2006.

High Strain Rate Testing: Metal Handbook, 19th, cd, vo.18, pp 187-297, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 2009.

Tipper, C.F., The Brittle Fractur Story, Cambridge University Press, London, 2007.

Rolfe, S.T., dan Barson, J.M., Fracture and Fatique Controle in Structures, Prentice-Hall, Inc., Englewood Chiffs, New York, 2008.

Tetelmen, A.S. dan Mc Evily, A.J., fracture of Structureal Materials, John Wiley & Sons, Inc., New York, 2009.

Knott, J.F., Fundamentals of Fracture Mechanics, John Wiley & Sons, Inc., New York, 2011.

Anderson, T.L., Fractur Mechanics: Fundamentals and Applications, CRC Press, Inc., New York, 2010

Griffith, A.A., The Phenomena of Rupture and Flow in Metals: Philoshopical Transaction , Seies A, Vol 221, 20011, pp 163-198