

## Mengenal Fenomena Tumbukan: Sebuah Pengantar

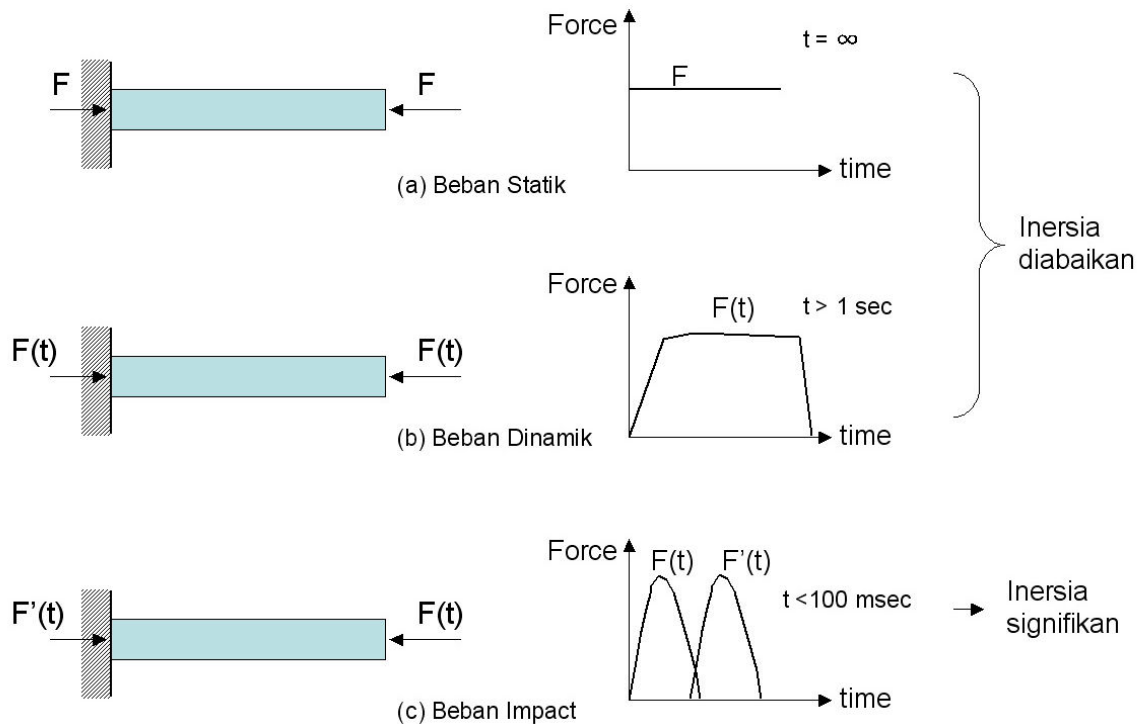
Oleh Azhari Sastranegara\*

Pengetahuan mengenai fenomena tumbukan atau benturan (*impact, collision*) pada berbagai material memiliki manfaat yang sangat luas dalam berbagai bidang rekayasa. Dewasa ini, seiring dengan performa yang semakin baik dan fungsi yang semakin beragam, kecepatan kerja alat-alat mekanik juga meningkat tajam. Hal ini mau tidak mau meningkatkan resiko terjadinya benturan. Oleh karena itu komponen alat-alat mekanik tersebut harus didesain sedemikian agar tetap berfungsi baik meskipun terjadi benturan dengan benda lain. Tulisan ini adalah pengantar sekilas mengenai rekayasa tumbukan (*impact engineering*), karakteristik dan perbedaannya dengan fenomena beban statik dan dinamik biasa.

Di bidang transportasi, fungsi pengamanan pada saat terjadi benturan menjadi prasyarat yang penting. Bahkan kemampuan mengamankan penumpang saat terjadi tabrakan menjadi salah satu klausul penting dalam ujian penilaian mobil baru yang dipelopori oleh NCAP (*New Car Assessment Program*). Di bidang pengembangan pesawat dan stasiun antariksa, penerbangan umum, dan pembangunan instalasi pembangkit energi, ketahanan terhadap benturan benda asing menjadi hal yang primer. Kita tentu masih ingat bagaimana benturan dua pesawat Boeing memicu kehancuran hebat gedung WTC di Amerika pada tahun 2001. Benturan serupa sebenarnya senantiasa diantisipasi pada tahap desain struktur, terutama untuk tempat yang vital seperti instalasi nuklir.

Mengingat bidang terapannya yang luas, jumlah penelitian tentang fundamental tumbukan meningkat sangat pesat beberapa dekade terakhir. Meskipun demikian, apa yang kita pahami dari fenomena tumbukan sampai saat ini masih sangat sedikit dibandingkan fenomena beban statik dan dinamik dengan getaran berfrekuensi rendah dalam mekanika. Fenomena beban statik dan dinamik sudah banyak dimengerti, serta sudah diterapkan pada sebagian besar struktur bangunan dalam kehidupan kita seperti struktur dam, gedung pencakar langit atau jembatan super panjang, tetapi tidak demikian dengan fenomena tumbukan yang memiliki sifat berbeda secara mendasar dengan beban dinamik biasa dan beban statik.

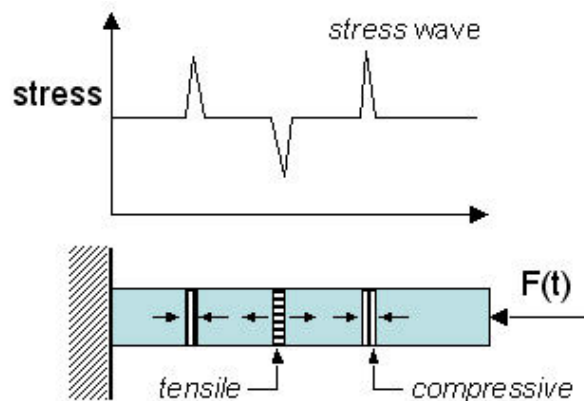
Perbedaan paling besar dari fenomena tumbukan dan beban statik (serta dinamik biasa) adalah durasi beban (*load period*). Pada tumbukan, durasi beban sangat singkat, umumnya kurang dari sepersepuluh detik sehingga efek kelembaman (*inertia*) dari massa yang terlibat menjadi signifikan. Dalam fenomena statik dan dinamik berkecepatan rendah, efek kelembaman dapat diabaikan. Ilustrasi mengenai hal ini dapat dilihat pada Gbr.1.



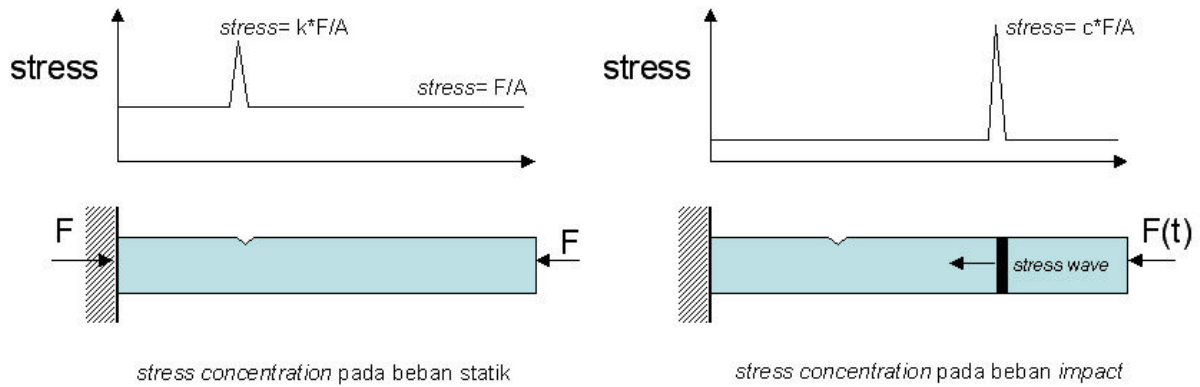
Gbr.1 Ilustrasi perbedaan beban statik, dinamik biasa dan *impact*

Perilaku bahan yang mendapatkan beban *impact* berbeda dengan bahan yang mendapat beban statis terutama dalam 3 hal berikut:

**Pertama**, ketika terjadi *impact*, terjadi rambatan gelombang tegangan (*stress wave*) dalam material. Daerah tegangan (*stress field*) yang timbul dari rambatan tegangan ini sangat berbeda dengan daerah tegangan pada beban statis. Salah satu contohnya adalah munculnya daerah tegangan tarik (*tensile stress*) meskipun beban yang bekerja adalah beban tekan (*compressive load*) seperti diilustrasikan pada Gbr.2, atau adanya konsentrasi tegangan (*stress concentration*) pada daerah normal atau daerah tanpa cacat (*non-imperfection area*). Padahal, pada kasus beban statis, *stress concentration* hanya akan timbul pada daerah yang tidak kontinyu (*imperfect*), seperti *dent*, *bent*, *hole* atau *fillet* (Gbr.3).



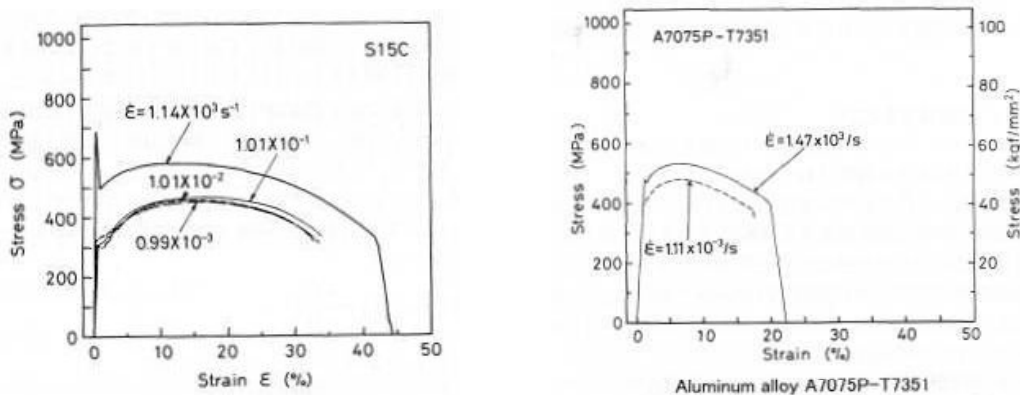
Gbr.2 *Stress wave* dalam suatu bahan yang mengalami tumbukan



Gbr.3 Stress wave menimbulkan stress concentration pada daerah *non-imperfection*

**Kedua**, material yang mengalami deformasi secara cepat menunjukkan sifat mekanik yang berbeda. Misalnya titik tegangan luluh (*yield stress*) baja umumnya berubah tergantung pada kecepatan deformasinya (lihat Gbr.4). Dalam fenomena impact, kecepatan deformasi sangat bervariasi dari impact berkecepatan rendah yang dapat dianggap fenomena statis sampai impact berkecepatan sangat tinggi seperti tumbukan meteor yang menyebabkan sebagian material menguap karena panas yang timbul. Karena ketergantungan sifat material pada kecepatan deformasi ini, diperlukan data yang cukup dari setiap material teknik pada peristiwa impact. Perlu dicatat bahwa perbedaan poin kedua ini berkaitan erat dengan poin pertama. Kecepatan deformasi yang mempengaruhi sifat mekanik suatu material, sangat dipengaruhi oleh gelombang tegangan dalam material.

**Ketiga**, keadaan kerusakan (*failure mode*) suatu material berbeda bergantung pada kecepatan deformasinya. Sebagai contoh, bahan yang lentur (*ductile*) pada kasus beban statik bisa menjadi getas (*brittle*) saat mendapat tumbukan, atau sebaliknya. Demikian juga dengan nilai *dynamic fracture toughness* yang biasanya berbeda dengan nilai *static fracture toughness*.

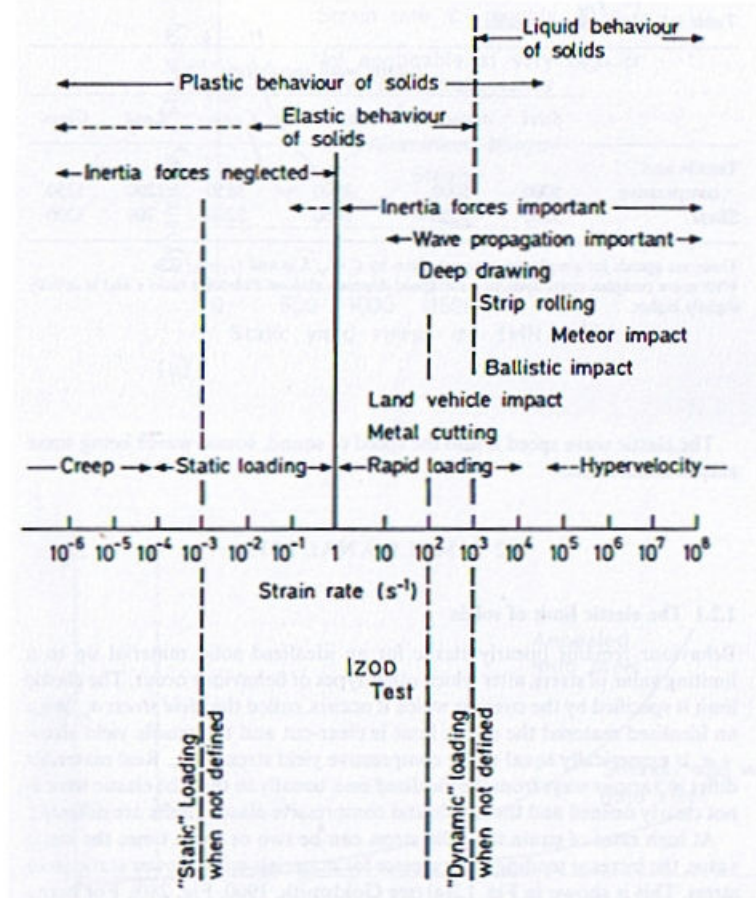


(a) SS curve untuk S15 C

(b) SS curve untuk Aluminium Alloy A7075P-T7351

Gbr 4. Efek *hardening* dari *strain rate* pada (a) S15C dan (b) Aluminium [1,2]

Skema yang menggambarkan secara umum penggolongan beban berdasarkan tingkat kecepatan deformasi yang dinyatakan dengan kecepatan regangan (*strain rate*) ditunjukkan oleh Gbr.5.



Gbr.5 *Strain rate* dan penggolongan bermacam beban mekanik [3]

Perbedaan response yang timbul terhadap beban disebabkan tumbukan dengan beban statik pertama kali diamati secara sistematis oleh Young. Dalam percobaannya, Young mencatat bahwa dalam fenomena tumbukan, energi kinetik dari penumbuk (*impactor*) jauh lebih signifikan pengaruhnya dibanding massa penumbuk. Dia juga menemukan bahwa seberapa kecilpun massa penumbuk, bila diberi energi kinetik yang cukup dapat menyebabkan kerusakan (*failure*) pada benda yang ditumbuk. Setelah Young, Navier (1821) dan Cauchy (1822) menurunkan rumus gerak (*dynamic motion*) untuk benda elastis. Lord Rayleigh (1887) dan Love (1911) ketika menjelaskan fenomena gempa bumi, menunjukkan wujudnya gelombang elastis yang bisa diamati pada permukaan suatu benda padat.

Pada awalnya para ilmuwan menganggap *stress* merupakan fungsi tunggal dari *strain*. Tetapi kemudian terbukti bahwa hubungan *stress-strain* (kurva SS) juga sangat dipengaruhi oleh *strain rate* seperti telah ditunjukkan pada Gbr.2. Sokolovski (1948) dan Malvern (1951) menurunkan rumus konstitutif yang memperhitungkan *strain rate* ini. Rumus ini dipakai dalam teori rambatan gelombang plastik dan teori stress untuk 3 dimensi yang saat ini dipakai secara luas.

Penelitian lain yang penting mengenai pengaruh kecepatan deformasi pada perilaku bahan.

dilakukan oleh J.Hopkinson (1872) dan puteranya B.Hopkinson (1905). Dari penelitian mereka didapatkan bahwa tegangan luluh (*yield stress*) pada baja saat mengalami tumbukan besarnya 2 kali nilai tegangan luluh pada kondisi statik. Selanjutnya B.Hopkinson menciptakan metode eksperimen untuk mengamati *stress wave* dengan memakai batang panjang (*bar*), metode ini dikenal dengan nama *Hopkinson Bar Method*. Kolsky (1949) serta Davies dan Hunter (1963) memperbaiki metode ini dan menjadikannya metode standar untuk mengamati perilaku spesimen saat tumbukan. Sekarang metode ini dikenal dengan nama *Split Hopkinson Pressure Bar* (SHPB).

Demikian pengantar singkat mengenai fenomena tumbukan atau dalam istilah ilmiah lebih dikenal dengan *impact engineering*. Mengingat pentingnya pengetahuan mengenai fenomena tumbukan dewasa ini, untuk menjawab permasalahan yang belum tuntas dipecahkan dengan teori statik dan dinamik biasa, diharapkan para mahasiswa teknik mesin, material dan sipil tertarik untuk mempelajarinya lebih jauh. Beberapa bahan bacaan yang merupakan pintu masuk *impact engineering* disertakan dalam daftar referensi.

**Referensi:**

1. M.Itabashi and K.Kawata, "Carbon Content Effect on High-Strain-Rate Tensile Properties for Carbon Steels", *Int.J.Impact Eng.* 24, 2, (200), 117-131
2. K.Kawata, M.Itabashi and S.Kusaka, "Behaviour analysis of Pre-Fatigue Damaged Aluminum Alloys under High-Velocity and Quasi-Static Tension", *IUTAM Symposium on Micromechanics of Plasticity and Damage of Multiphase Materials*, Kuwer Academic Publishers, Dordrecht, (1996), 397-404.
3. Macaulay, M. *Introduction to Impact Engineering*. Chapman and Hall (1987)
4. Jones, N. *Structural Impact*. Cambridge University Press (1997)
5. Stronge, W.J., Yu T.X. *Dynamic Models for Structural Plasticity*. Springer-Verlag (1993)
6. Goldsmith, W. *Impact: The Theory and Physical Behaviour of Colliding Solids*. Dover Publications (2001)
7. 日刊工業新聞社発行「衝撃工学」. 著: 村卓夫, 田中善之助

\*Azhari Sastranegara, Dr. Menyelesaikan program S3 bidang *impact engineering* di Tokyo Institute of Technology pada tahun 2005. Sekarang bekerja sebagai peneliti dan teknisi pada NSK LTD, bagian *Automotive Bearing Technology Department*