

# KETAHANAN ELEMEN STRUKTUR TERHADAP KEBAKARAN

Kusdiman Joko Priyanto

## *Abstrak*

*Kebakaran merupakan bencana yang dapat terjadi setiap saat dan kapan saja. Banyak bangunan telah mengalami kebakaran karena berbagai sebab, antara lain akibat hubungan arus pendek, ledakan gas, sambaran petir dan sebagainya. Berbagai fenomena yang ada ketika kebakaran terjadi, diketahui adanya beberapa hal antara lain keganasan api, pemindahan panas, penjalaran api dan pengaruhnya terhadap suatu elemen struktur. Sehingga dengan diketahui fenomena tersebut dapat diupayakan agar elemen struktur tahan terhadap bahaya panas dan api. Upaya yang dilakukan dengan cara memberikan perlindungan terhadap elemen struktur, melakukan sistem perancangan struktur yang tepat, dan peningkatan kualitas bahan struktur yang dipakai.*

*Kata kunci : penjalaran api, perlindungan struktur, perancangan struktur, kualitas bahan*

## **1. PENDAHULUAN**

Semakin pesatnya jumlah pembangu-nan dan sempitnya lahan untuk mendirikan bangunan, para pemilik gedung cenderung untuk untuk memperluas bangunannya secara vertikal dengan menambah jumlah lantai.

Pertimbangan ketahanan struktur terhadap bahaya gempa sering dilakukan, namun ketahanan struktur juga harus diperhitungkan terhadap kemungkinan terjadinya kebakaran. Hal ini akan meyebabkan menurunnya kekuatan dari struktur karena pengaruh bahaya panas dan api. Tingkat ketahanan struktur terhadap bahaya panas dan api dapat dipastikan apabila metode perancangan dan pelaksanaan konstruksi telah diterapkan dengan baik dan benar serta adanya kualitas yang baik dari bahan yang dipakai.

## **2. KONSEP DASAR STRUKTUR BAJA TAHAN API**

Proses mendasar dari perancangan struktur baja tahan api berawal dari asumsi yang berkenaan dengan dampak yang akan mempengaruhi terhadap sistem dan penafsiran dari struktur. Dalam peranca-ngan struktur baja tahan api, pengaruh dari panas api sangat berdampak pada sistem struktur, artinya struktur baja dapat dirancang untuk bertahan beberapa saat sebelum terjadi kegagalan struktur, sehingga diharapkan para penghuni yang ada didalamnya dapat menyelamatkan diri. Meskipun pada akhirnya struktur tersebut tidak dapat sepenuhnya dipertahankan karena ketahanan struktur tersebut tergan-tung dari suhu panas yang dipancarkan dan lamanya panas yang bekerja pada struktur tersebut.

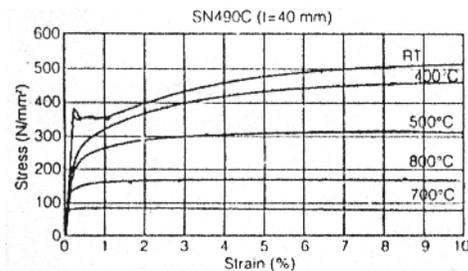
Oleh karena itu, suhu lingkungan dimana struktur tersebut akan didirikan harus diperhitungkan pertamakali apabila terjadi kebakaran. Setelah suhu lingkungan ditentukan selanjutnya menghitung suhu dimana produk baja

akan dipanaskan oleh suhu lingkungan yang diasumsikan. Elemen struktur baja.

### 3. SIFAT BAJA PADA SUHU TINGGI

Pada suhu yang tinggi seperti halnya api, sifat baja pada suhu tinggi berbeda dengan sifat baja pada suhu ruangan. Dalam kondisi khusus tegangan leleh baja biasa mempunyai kemampuan untuk menahan beban menurun secara linier ketika suhu naik sampai 400°C dan hampir tak ada tegangan leleh apabila hal ini dibiarkan sampai mencapai suhu 800°C atau lebih.

Diagram tegangan-regangan dari suatu produk baja pada tes tegangan pada suhu tinggi JIS G 311G SN490C ditunjukkan pada (gambar.1)



Gbr 1. Kurva regangan tegangan

### 4. ELEMEN STRUKTUR BAJA TAHAN API.

Uji pemanasan dilakukan secara periodik untuk menentukan ketahanan panas api dari elemen struktur yang dimasukkan kedalam api. Pengujian keselamatan bangunan terhadap panas api dilakukan pada percobaan tungku api untuk menghasilkan suhu api yang sesuai dengan standar curve suhu api ISO 834 (gambar.2)

Dibawah ini ditunjukkan pengujian pemanasan pada kolom yang

biasanya diberikan perlindungan untuk meningkatkan ketahanan baja tersebut terhadap panas dan api.

dilakukan oleh Building Research Institute bekerja-sama dengan Japan Iron and Steel Federation. Percobaan tungku api yang digunakan untuk pengujian kolom (foto.1). Tungku api merupakan alat percobaan dengan kriteria sebagai berikut : kapasitas

beban maksimum 20 MN, luas ruang pengukuran dalam dengan lebar 2.50 m, dalam 2.50 m dan tinggi 4.00 m, serta sistem pengendalian yang diprogram secara otomatis untuk disesuaikan dengan standar pemanasan ISO 834.

Pengujian yang terdiri dari serat keramik (*ceramic-fiber*) tahan api dengan tebal 30 mm yaitu suatu bahan tahan api selama 1 jam yang disebut fireguard, yang membungkus kolom persegi baja berbentuk pipa yang telah dirakit dengan cara mengelas bersama-sama dengan pelat baja SN490 dengan tebal 40 mm JIS G 3136 SN490C (foto.2)

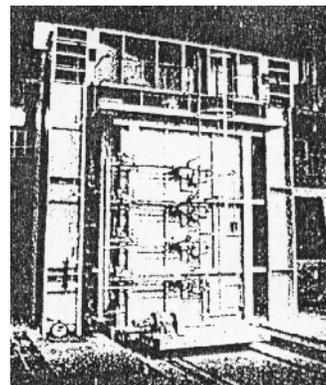


Foto 1. Pengujian kolom pada tungku api

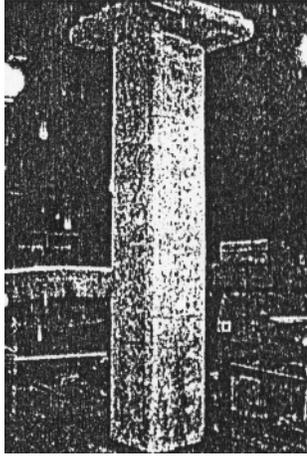


Foto 2. Kolom baja terlindung

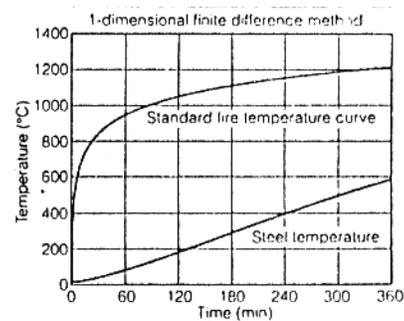
Pada saat terjadi kebakaran pada gedung dalam ruangan kosong, sangat jarang api dapat terus menyala selama lebih dari 2 jam dan ada kemungkinan hanya sedikit kasus keganasan api yang menjadi begitu luar biasa hingga melebihi suhu api standar. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa kolom yang mempunyai ketentuan seperti contoh pengujian memiliki ketahanan api yang cukup untuk menahan api pada umumnya.

Hal itu telah dibuktikan dengan berbagai pengujian yang terus dilakukan termasuk pengujian yang menyediakan elemen-elemen struktur baja dengan perlindungan api yang tepat yang memberikan keamanan untuk melawan terhadap bahaya api. Banyak aspek seperti waktu dan biaya untuk menguji ketahanan api melalui percobaan, bahkan ketika targetnya adalah elemen struktur tunggal. Bagaimanapun produk baja menawarkan sifat material yang stabil dan memungkinkan kemudahan untuk memperkirakan kapan tegangan leleh akan mengalami penurunan pada saat suhu tinggi.

Oleh karena itu apabila memungkinkan untuk mengevaluasi secara tepat suhu baja selama ada bahaya api melalui

analisa kuantitatif dan cara pendekatan yang lain, sehingga ketahanan api dari material baja dapat dihitung.

Metode Finite Difference satu dimensi adalah salah satu format sederhana dari analisa numerik yang digunakan. Gambar-3 menunjukkan hasil penggunaan metode analisa numerik yaitu merupakan hasil analisa nilai standar dari panas dan sifat lain dari material baja dan material perlindungan api. Suhu baja yang ditunjukkan pada gambar 5 dapat menyesuaikan dengan baik satu sama lain, sehingga memungkinkan untuk menyatakan bahwa peningkatan suhu elemen struktur baja dapat diperkirakan dengan teliti, bahkan saat menggunakan metode finite difference satu dimensi yang sederhana.



Gbr 3. Curve suhu-api baja dengan dengan analisa numerik

## 5. STRUKTUR BANGUNAN TAHAN API

Bukanlah hal tidak mungkin membuat analisa eksperimen atas ketahanan api dari struktur bangunan yang sesungguhnya, namun biaya digunakan untuk mencapai hasil tersebut jauh lebih besar dibandingkan dengan eksperimen yang dilakukan hanya pada elemen struktur. Analisa eksperimen ketahanan api dari seluruh bangunan masih jarang dan terbatas pada kasus-kasus tertentu. Dengan

pertimbangan rangka struktur yang berukuran sangat besar, pendekatan yang umum untuk menganalisis ketahanan api adalah dengan cara analisa numerik.

bangunan sampai api dapat dipadamkan (hanya dinding bagian luar).

## 6. METODE VERIFIKASI

Metode Verifikasi ketahanan api diperkenalkan mengikuti Standar Bangunan Jepang tahun 2000. Metode ini selanjutnya disebut dengan Metode Verifikasi. Standar Bangunan menetapkan bahwa bagian struktur utama dari bangunan tahan api harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

1. Struktur bangunan merupakan struktur tahan api.
2. Mempunyai kemampuan :
  - a. Tahan terhadap aksi yang dihasilkan oleh api yang diprediksi akan terjadi dalam ruang tertutup sampai api dapat dipadamkan, dan
  - b. Tahan terhadap api yang dihasilkan oleh api normal yang mungkin terjadi disekitar

Metode Verifikasi sehubungan dengan permasalahan (2.a) diatas intensitas dan durasi terjadinya api pada ruang tertutup dapat diperkirakan, sedangkan sehubungan dengan permasalahan (2.b) diatas kebakaran eksternal ditetapkan dan selanjutnya dilakukan verifikasi bahwa kolom, balok, dinding dan bagian-bagian lain dapat bertahan terhadap intensitas dan durasi terjadinya api.

Setiap kinerja yang diperlukan untuk tiap bagian struktur ditunjukkan pada tabel 1. Sarana untuk memverifikasi setiap kinerja tersebut ditetapkan dalam Metode Verifikasi. Setiap Metode Verifikasi disu-sun sedemikian rupa sehingga dapat membuktikan (*memverifikasi*) bahwa "*waktu ketahanan api*  $\geq$  *waktu durasi*" pada tahap akhir-verifikasi

Tabel 1 Ketahanan api yang disyaratkan

| Kinerja yang diwajibkan   | Bagian struktur dasar |                 |       |       |        |        |      |
|---------------------------|-----------------------|-----------------|-------|-------|--------|--------|------|
|                           | Dinding bagian luar   | Dinding partisi | Kolom | Balok | Lantai | Tangga | Atap |
| Api tertutup              |                       |                 |       |       |        |        |      |
| • Kemampuan menahan beban | R*                    | R*              | R     | R     | R      | R      | R    |
| • Pembatasan              | -                     | R               | -     | -     | R      | -      | -    |
| • Integritas              | R                     | -               | -     | -     | -      | -      | R    |
| Api eksterior             |                       |                 |       |       |        |        |      |
| • Kemampuan menahan beban | R*                    | -               | -     | -     | -      | -      | -    |
| • Pembatasan              | R                     | -               | -     | -     | -      | -      | -    |

R : diwajibkan      R\*: diwajibkan dalam hal "bearing wall"      - : tidak diwajibkan

Pada tabel 1, kemampuan menahan beban pada api tertutup diperlukan untuk kolom, balok dan struktur sangatlah penting dari bangunan berstruktur baja.

Standar bangunan menetapkan bahwa bangunan apartemen, rumah, hotel dll yang digunakan oleh sebagian besar

orang dan bangunan diperkotaan harus berstruktur tahan api.

## 7. DURASI API DAN SUHI API

Sebagaimana telah dijelaskan dimuka, tahap pertama perancangan struktur adalah membuat anggapan-anggapan tentang tin-dakan yang akan mempengaruhi sistem struktur. Dalam kasus perancangan tahan api, langkah pertama adalah membuat anggapan-anggapan tentang pengaruh dari api yang memberikan panas pada struktur.

Api dalam praktek dapat terjadi dalam berbagai ruangan gedung dan dipengaruhi oleh ventilasi dan ruangan yang mudah terbakar dan faktor-faktor lain dari dinding, lantai dan struktur lainnya. Berkaitan dengan ruangan yang mudah terbakar, tidaklah mudah memperkirakan model api untuk membuat anggapan tentang ukuran, tempat, kualitas bahan dari ruang yang mudah terbakar tersebut. Oleh karena dalam Metode Verifikasi suhu api secara umum dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$T_f(t) = \alpha t^{1/6} + 20 \quad (0 \leq t \leq t_f) \quad (\text{pers. 1})$$

dimana :

- $T_f(t)$  : suhu api ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $t$  : waktu penyebaran api (min)
- $t_f$  : durasi api (min)
- $\alpha$  : koef. kenaikan suhu api

Durasi api,  $t_f$  (min) didapat dari persm. 2 dimana total caloritic ruang ( $Q_r$ ) dibagi dengan tingkat pelepasan panas ( $qb$ ).

$$T_f = \frac{Q_r}{60.qb} \quad (\text{pers 2})$$

Nilai calorific dari media penyimpanan yang mudah terbakar dalam ruang tertutup dinyatakan dalam table-2 dengan berdasarkan pada katagori ruang. Tingkat pelepasan panas ( $qb$ ) dihitung berdasarkan area permukaan yang mudah terbakar dan kondisi ventilasi.

Koefisien kenaikan suhu api sebesar  $\alpha$  ( $^{\circ}\text{C}/\text{min}^{1/6}$ ) merupakan parameter untuk menyatakan intensitas api dan didapat dari persm.3 Persamaan ini menghitung keseimbangan antara yang dilepas oleh ruangan yang sudah terbakar dan panas yang hilang akibat dinding parameter (dinding, lantai, langit-langit)

$$\alpha = 1280 \left[ \frac{qb}{\sqrt{\sum A_c \cdot I_h \cdot \sqrt{F_{op}}}} \right]^{2/3} \quad (\text{pers. 3})$$

3)

dimana :

- $A_c$  : luas area dinding parameter ( $\text{m}^2$ )
- $I_h$  : inersia panas ( $\text{KW.S}^{1/2} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$ )
- $F_{op}$  :  $\max \left[ \sum A_{op} \cdot \sqrt{H_{op}} \cdot A_R \cdot \sqrt{H_R} / 70 \right]$
- $A_{op}, H_{op}$  : luas ( $\text{m}^2$ ) dan tinggi (m) bukaan
- $A_R, H_R$  : luas lantai ( $\text{m}^2$ ), tinggi lantai (m)

Sementara itu kurva suhu api standar ISO 834 menyesuaikan dengan kurva koefisien kenaikan suhu api ditetapkan pada  $\alpha = 460$  dalam persamaan 1.

Tabel 2 : Nilai calorific per unit luas lantai dari penyimpanan yang mudah terbakar dalam suatu ruang.

| Katagori ruang                          | Nilai calorific (MJ/m <sup>2</sup> ) |
|---|--------------------------------------|
| Ruang dapat dihuni                      | 720                                  |
| Ruang kantor                            | 560                                  |
| Ruang pertemuan                         | 160                                  |
| Ruang kelas                             | 400                                  |
| Arena senam                             | 80                                   |
| Toko furniture atau took buku           | 960                                  |
| Toko yang lain                          | 480                                  |
| Koridor, tangga, dan jalan terusan lain | 32                                   |
| Gudang                                  | 2000                                 |

Metode Verifikasi memberikan metode perhitungan yang hanya mempertimbangkan penurunan dalam kekuatan hasil dan koefisien elastisitas baja biasa pada suhu tinggi. Oleh karenanya baja tahan api dan baja stainless mempunyai sifat suhu tinggi yang lebih tinggi dari baja biasa yang digunakan.

Pengujian dilakukan untuk membandingkan antara ketahanan api dari baja biasa dan baja tahan api dengan cara menetapkan kondisi pengujian yang identik bagi kedua jenis baja dan menggunakan pengujian tungku api kolom pada Building Research Institute dengan hasil sebagai berikut : kolom baja yang dipakai dalam pengujian adalah kolom baja persegi berbentuk silinder (kelas baja SN490B, standar BCP, tabung siku 600x600x28, luas sekat 600.3 cm<sup>2</sup>, momen inersia geometri 314.000 cm<sup>4</sup>).

Pembungkus dari serat keramik setebal 30 mm digunakan sebagai pelindung (*fireguard*). Hasil pengujian ditunjukkan dalam tabel 3. Sepasang pengujian baja biasa dan baja tahan api mengindikasikan hasil dari pemanasan suhu beban 0.6 kali penopang tekuk dari beban-beban khusus yang mendukung kondisi yang diterima dalam struktur bangunan dengan dua elemen kolom

yang selanjutnya memanasakan elemen ini dengan menggunakan kurva suhu api standar ISO834.

Bagian lain dari pengujian ini, baja biasa dan baja tahan api dilakukan dengan menganggap kondisi dimana didalamnya terjadi suatu keseimbangan beban untuk mendukung beban tekuk yang diterapkan pada elemen yang selanjutnya dipanaskan dengan menggunakan kurva api hidro-karbon.

Sebagaimana dalam tabel.3 pada kondisi yang paling khusus dimana ratio kekuatan sekitar sumbu adalah 0.6 dari standar pemanasan diterapkan, baja tahan api kemampuan untuk menahan beban 80 menit lebih lama dibandingkan baja biasa.

Dan karena suhu tekuk dari baja tahan api 130°C lebih tinggi dari baja biasa, maka kolom baja tahan api mempunyai ketahanan api yang lebih besar. Selanjutnya dalam kasus dimana ratio kekuatan sumbu adalah 1.0 dan intensitas pemanasan yang lebih besar digunakan, maka baja tahan api menunjukkan perbedaan yang cukup besar dalam suhu tekuk dibanding dengan baja biasa seperti ditunjukkan ketahanan api dari baja tahan api sebagai berikut :

Tabel 3

| No | Nilai baja     | Kondisi pemanasan | Beban    | Perbandingan kekuatan kolom | Waktu tekuk | Temperatur tekuk |
|----|----------------|-------------------|----------|-----------------------------|-------------|------------------|
| 1. | Baja biasa     | ISO standard      | 8.60 MN  | 0.6                         | 210 min     | 550 °C           |
| 2. | Bja tahan api  | ISO standard      | 8.67 MN  | 0.6                         | 290 min     | 680 °C           |
| 3. | Baja biasa     | Hydrocarbon       | 14.19 MN | 1.0                         | 135 min     | 410 °C           |
| 4. | Baja tahan api | Hydrocarbon       | 14.45 MN | 1.0                         | 215 min     | 600 °C           |

Standar Bangunan Jepang menetapkan bahwa bangunan (apartemen, rumah, hotel dsb) yang digunakan oleh sebagian besar orang dan bangunan yang didirikan di wilayah perkotaan harus berstruktur tahan api.

Selanjutnya didalam konstruksi bangunan tahan api untuk elemen balok, kolom dan elemen struktur lainnya harus sesuai dengan pertahanan api tertentu atau penerapan ketahanan api harus ditetapkan melalui perhitungan. Suatu pendekatan yang digunakan untuk memastikan spesifikasi pengamanan api tertentu dengan menyediakan pelindung api yang akan menjaga suhu baja agar tetap dibawah 350°C, suhu rata-rata produk baja yang diperkenankan selama kebakaran.

Alasan utama dalam pendekatan ini adalah bahwa batas regangan (regangan yang diijinkan untuk memikul beban) dari baja secara umum pada suhu tinggi turun pada 2/3 dari batas regangan suhu kamar yang ditetapkan sebesar 350°C, dimana suhu ini berada dibawah batas regangan yang diwajibkan untuk bangunan selama terjadi kebakaran.

Baja tahan api menjamin bahwa baja mempunyai batas regangan pada suhu tinggi untuk menahan beban yang diijinkan naik sampai 600°C. Secara umum temperatur selama terjadi

kebakaran adalah 1000°C. Oleh karena itu ketika baja pada umumnya harus dibatasi sedemikian rupa sehingga suhu baja tidak lebih dari 350°C, sedangkan baja tahan api hanya perlu dibatasi sedemikian rupa agar suhu baja tidak lebih dari 600°C sehingga tidak mengurangi kemampuan baja untuk melindungi dari api.

Selanjutnya baja tahan api dapat digunakan tanpa pelindung api pada saat api dan kondisi perancangan bangunan menunjukkan bahwa suhu dari elemen baja selama terjadi kebakaran tidak melebihi 600°C. Perancangan mengijinkan baik untuk baja umum atau baja tahan api untuk dapat digunakan diluar batas suhu baja, dalam hal ini 350°C untuk baja umum dan 600°C untuk baja tahan api. Kegunaan dari baja tahan api dengan demikian memungkinkan penurunan biaya dan waktu konstruksi serta merupakan bahan yang efektif untuk digunakan dalam ruang interior

Diantara sifat utama dari baja tahan api adalah :

- Batas regangan pada suhu tinggi relatif tinggi, dan batas regangan pada suhu 600°C lebih dari 2/3 nilai suhu yang ditetapkan pada suhu kamar.
- Sifat dari suhu kamar sesuai dengan spesifikasi untuk berbagai material baja.

## 8. KARAKTERISTIK BAHAN BAJA

### a. Sifat Suhu Tinggi

Perbandingan dari batas regangan suhu tinggi pada baja biasa dan baja tahan api. Ketika batas regangan dari baja biasa turun sampai 350°C atau kira-kira 2/3 dari nilai yang ditetapkan pada suhu kamar sedangkan baja tahan api mencapai lebih dari 2/3 nilai suhu kamar yang ditetapkan sampai 600°C terlam-pau. Hal ini menunjukkan begitu tinggi-nya batas regangan pada suhu tinggi.

Perbandingan karakteristik rangkak (*creep*) suhu tinggi 600°C antara baja biasa dan baja tahan api. Pada baja biasa regangan rangkak 1% terjadi apabila diberi beban 125 N/mm<sup>2</sup> selama 10 menit, sementara dalam baja tahan api regangan rangkak 1% terjadi apabila diberi beban 225 N/mm<sup>2</sup> selama 100 menit.

### b. Sifat Suhu Kamar

Dalam baja tahan api, unsur-unsur logam ditambahkan untuk meningkatkan batas regangan pada suhu tinggi, sementara sejumlah campuran logam untuk menghalangi sifat getas, seperti C dan Mn dikurangi. Akibatnya baja tahan api menawarkan sifat getas yang sama atau bahkan melebihi sifat getas baja biasa

- b. Baja biasa mengalami regangan rangkak (*creep*) 1% apabila diberi beban 125 N/mm<sup>2</sup> selama 10 menit sedangkan baja tahan api mengalami regangan rangkak 1% apabila diberi beban 225 N/mm<sup>2</sup> selama 100 menit.
- c. Batas ijin baja tahan api dapat bertahan sampai batas tidak lebih dari 600°C sedangkan baja biasa dapat bertahan sampai batas tidak lebih dari 350°C.

## DAFTAR PUSTAKA

- Jurusan Teknik Sipil – FTSP – ITB, 2000. *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung*
- Mamoru Kohno, 2003. *Fire Resistance of Steel Structures – Its Verification Method in the Building Standard. Department of Fire Engineering*, Building Research Institute.
- Mamoru Kohno, 2003. *Fire Resistance Excellent Properties at Elevated Temperatures- Department of Fire*

### Biodata Penulis

**Kusdiman Joko Priyanto, ST,MT**  
Surakarta 3 Agustus 1967(UTP-1996 dan UNDIP-2008) Kelompok Studi Bidang Struktur

## 9. KESIMPULAN

Diantara sifat utama dari baja tahan api adalah :

- a. Sifat baja pada umumnya sangat lemah terhadap bahaya panas dan api.

