

## ANALISIS RETAK TEMPURUNG HELM INDUSTRI PADA IMPAK KECEPATAN TINGGI

Batu Mahadi Siregar

### Abstrak

Bentuk dan arah retakan dari hasil penetrasi pada permukaan helm industri yang dikenai beban impact kecepatan tinggi pada lokasi titik impact bergantung kepada kekuatan permukaan helm tersebut dalam menyerap energi yang diakibatkan beban impact kecepatan tinggi. Untuk mendapatkan beban impact kecepatan impactor ditempatkan dalam sebuah barel dan ditembakkan ke lokasi impact helm yang akan diuji, menggunakan alat uji *KOMPAK*. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa besarnya tegangan bervariasi berdasarkan variasi tekanan dan jarak impact, bentuk retakan menunjukkan arah yang sama untuk satu jenis tulangan.

**Kata-kata kunci:** helm industri, impact kecepatan tinggi, *Kompak*, mekanisme retak.

### 1. Pendahuluan

Menggunakan *test rig* dengan teknik jatuh bebas merupakan prosedur pengujian standard yang diterapkan selama ini. Pengujian standard ini bertujuan untuk

melihat sejauh mana kemampuan helm dalam menyerap energi impact dan meneliti keparahan rusak helm yang memungkinkan merusak lapisan kulit kepala lewat penetrasi. Prosedur pengujian semacam ini telah banyak digunakan oleh berbagai pusat pengujian helm, misalnya Sirim Berhad, Malaysia dan B4T Deperindag, Bandung Indonesia, dan juga Pusat Riset Impact dan Keretakan, Jurusan Teknik Mesin USU.

Secara umum prosedur uji standard yang dilakukan dengan menjatuhkan *striker* dari ketinggian  $H=2$  s.d. 3 meter. Dengan demikian kecepatan *striker* hanya lebih kurang,  $v = \sqrt{2gH} = 6.3$  m/detik. Kecepatan *striker* sebesar ini masih tergolong kecepatan impact rendah. Kenyataan di lapangan besar kemungkinan benda jatuh dari suatu ketinggian yang lebih tinggi. Katakanlah sebuah benda jatuh bebas dari suatu gedung berlantai 10 ( $H=40$ m) yang sedang dibangun dan menimpa pekerja yang menggunakan helm standard. Pertanyaannya apakah helm tersebut akan tahan menerima benda jatuh dari ketinggian tersebut? Menggunakan rumus yang sama kita dapat memperkirakan kecepatan jatuh benda tadi yaitu  $v=28.2$  m/detik, kecepatan sebesar ini sudah tergolong kecepatan impact tinggi. Dengan demikian menggunakan prosedur standard yang sudah umum dipakai akan tidak mampu memberi keamanan kepada sipekerja. Dalam hal ini helm untuk pekerja konstruksi atau industri seperti itu seyogyanya dibuat dari bahan dan desain yang khusus dan telah lulus mutu uji impact kecepatan tinggi.

Dari uraian di atas peneliti pada kesempatan ini ingin memberikan informasi tentang mekanisme kerusakan permukaan helm yang terjadi akibat variasi jarak impact dengan menggunakan sebuah cara baru yang cocok untuk helm tahan terhadap impact tinggi, yaitu teknik pengukuran menggunakan set-up pengujian terbaru dari alat uji impact Kompresor Impact, *KOMPAK* (Syam B., 1999; Siregar, B., M., 2004). Pada gilirannya, teknik ini dapat digunakan untuk mengukur kekuatan helm industri akibat beban impact.

### 2. Metodologi

#### *Set-up Peralatan Uji*

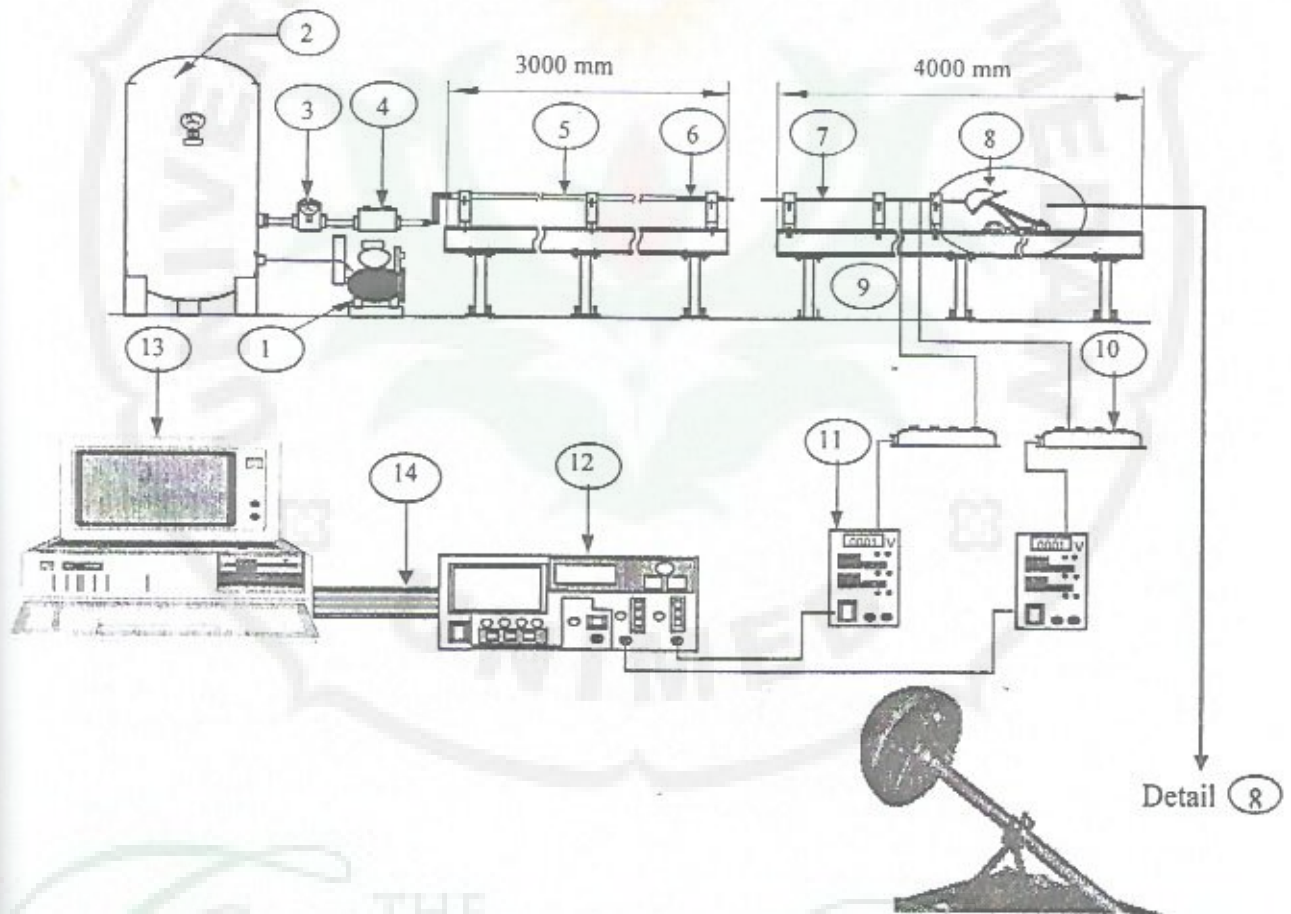
Untuk menguji karakteristik helm yang dikenai beban impact kecepatan tinggi dilakukan dengan menggunakan *KOMPAK*. Beban impact (tegangan insiden) yang dimaksud dalam peper ini adalah tegangan yang masuk ke permukaan impact, yaitu bagian atas tempurung helm. Tegangan insiden pada lokasi impact tersebut tidak dapat diukur secara langsung; karena itu dalam penelitian ini tegangan insiden diukur dengan menggunakan set-up *KOMPAK* dengan teknik dua *gage* (Siregar, B. M., 2004).

Konstruksi peralatan uji impact secara skematik ditunjukkan pada Gambar. 1. *KOMPAK* telah dimodifikasi sehingga dapat digunakan secara khusus untuk pengujian helm. Helm industri yang akan diuji (8) ditempatkan bersentuhan dengan salah satu ujung batang penerus ujung tumpul rata dengan panjang 2 m dan ujung tumpul dengan panjang 1,5 m (7). Beban impact diperoleh dengan menumbukkan batang impact (panjang 0,5m) (6) ke batang penerus. Variasi kecepatan batang impact diperoleh dengan mengatur tekanan udara lepas dan jarak impact, yaitu jarak tumbukan batang impact dan batang penerus.

### 3. Tinjauan Pustaka

Pengukuran beban impact yang dibangkitkan pada lokasi impact dan ditransmisikan ke helm dilakukan dengan menggunakan teknik *strain gage* yang dipasangkan di dua lokasi titik ukur pada batang penerus, yaitu pada a dan b. Gelombang tegangan yang ditangkap oleh *strain gage* pada lokasi a dan b tersebut, selanjutnya dengan bantuan *bridge box* (Kyowa), perubahan tahanan *gage*  $\Delta R/R$  diubah menjadi voltase

output  $V_o$  pada *transient converter*, melalui *signal conditioner*. Data digital yang direkam *transient converter* selanjutnya dikirim ke komputer dengan memakai *interface*. Channel 1 atau 2 yang terdapat pada *transient converter* digunakan untuk mendeteksi gelombang tegangan yang melewati *strain gage* (pada lokasi a dan b). Tegangan insiden yang dihasilkan di atas itulah yang dimaksud dengan respon helm (Syam, B., 1996).



- |                              |                                      |
|------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Kompresor                 | 8. Spesimen Helm dan <i>test rig</i> |
| 2. Tangki Udara              | 9. <i>Strain Gage</i>                |
| 3. <i>Pressure Regulator</i> | 10. <i>Bridge Head</i>               |
| 4. Katup Solenoid            | 11. <i>Signal Conditioner</i>        |
| 5. Pipa Barel                | 12. <i>Transient Converter</i>       |
| 6. Striker                   | 13. <i>Personal Computer</i>         |
| 7. <i>Input bar</i>          | 14. <i>Interface</i>                 |

Gambar 1 Set-up Alat Uji KOMPAK



Gambar 2 Set-up batang dan helm

Tabel 1 Sifat mekanik batang ujung rata dan tumpul

Ujung batang		Material	E (GPa)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$C_0$ (m/s)
Ujung rata	Striker	SUS 304	205	7760	5140
	input bar	SKS-3	190	7780	4936
Ujung tumpul	Striker	Al-6061	68	2713	5006
	input bar	Al-6061	68	2713	5006

*Metoda pengukuran tegangan*

Pada Gambar 2 ditunjukkan secara detail susunan batang helm yang akan diuji.

Perhitungan tegangan insiden tekan pada lokasi impact dari helm didasarkan pada teori penjalaran gelombang elastik (Siregar, B., M. et. al., 2004; Yanagihara, N., et.al., 1997). Berikut ini diberikan rumus menghitung besarnya gelombang tegangan pada lokasi b:

$$\sigma_b(t) = \sigma_R(t) + \sigma_L(t) \tag{1}$$

dimana  $\sigma_R(t)$  dan  $\sigma_L(t)$  adalah tegangan yang berpropagasi ke kiri dan ujung kanan batang penerus. Ambil  $t_1 = l/C_0$ , di mana  $l$  jarak antara gage a dan b, juga c dan  $C_0$  adalah kecepatan rambat gelombang elastik dalam batang. Tegangan pada lokasi a dan c dapat dihubungkan sbb:

$$\sigma_a(t) = \sigma_R(t + t_1) + \sigma_L(t - t_1) \tag{2}$$

dan

$$\sigma_c(t) = \sigma_R(t - t_1) + \sigma_L(t + t_1) \tag{3}$$

Jika Pers. (3) disederhanakan dalam  $\sigma_a$  dan  $\sigma_b$ , tegangan insiden yang ditransmisikan ke dalam helm, pada lokasi c, dapat dihitung, sebagai berikut:

$$\sigma_c(t) = \sigma_b(t + t_1) + \sigma_b(t - t_1) - \sigma_a(t) \tag{4}$$

Di sini,  $t$  adalah waktu dan  $t_1 = \text{jarak dari a ke b}/c_0$ , dimana  $c_0$  adalah kecepatan rambat gelombang dalam batang yang dihitung dengan rumus  $C_0 = \sqrt{E/\rho}$ . Di sini E,

Modulus elastisitas dan  $\rho$ , masa jenis batang penerus (input bar).

Pengujian dilakukan dengan berbagai variasi beban impact yang diatur dengan cara merubah jarak impact.

Dalam pengujian ini tekanan tangki udara diatur pada 0,4 MPa, dengan variasi jarak pengimpakan.

**4. Hasil dan Pembahasan**

*Hasil pengukuran batang ujung rata*

Menggunakan set-up seperti ditunjukkan pada Gambar 2(a) dan metoda yang dijelaskan di atas sebanyak 10 buah helm merek-X yang dikenakan berbagai variasi beban impact. Tegangan insiden, tegangan yang ditransmisikan ke dalam helm pada lokasi impact dihitung dengan memakai Pers. (4), menggunakan data pengukuran pada lokasi a dan b. Dalam penelitian penyelidikan karakteristik helm tegangan insiden ini sangat penting untuk diketahui.

Gambar 3 dengan tekanan 0,4 MPa dan jarak impact 450mm menunjukkan kepada kita bahwa intensitas tegangan insiden tergantung pada tegangan impact yang dihitung dari hasil pengukuran pada lokasi a dan b. Intensitas tegangan impact tergantung kepada kecepatan impact *striker* dan sifat-sifat mekanik batang impact dan batang penerus.

Dapat dimengerti bahwa tegangan impact yang menjalar dalam batang penerus tidak sepenuhnya dapat ditransmisikan ke dalam helm. Pada tekanan 0,4 MPa dan jarak impact 450 mm diperoleh tegangan impact yang terukur pada lokasi a sebesar 75 MPa. Akan tetapi, besarnya tegangan yang dapat ditransmisikan ke dalam helm hanya sebesar 9,2 MPa. Di sini, terlihat bahwa ada pengaruh faktor transmisi tegangan.

*Hasil pengukuran batang ujung tumpul*

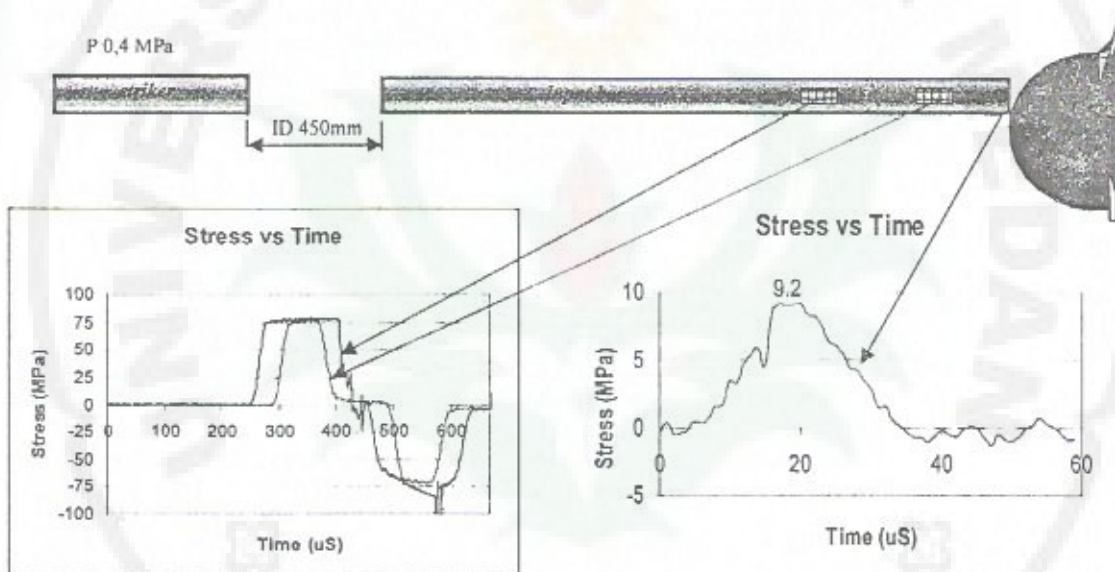
Menggunakan set-up seperti ditunjukkan pada Gambar 2(b) dan metoda yang sama dijelaskan di atas sebanyak 10 buah helm merek-X yang dikenakan berbagai variasi beban impact. Tegangan insiden, tegangan yang ditransmisikan ke dalam helm pada

lokasi impact dihitung dengan memakai persamaan yang sama Pers. (4), dimana karakteristik batang impact dan batang penerus yang ditunjukkan pada Tabel 1 pengukuran pada lokasi a dan b.

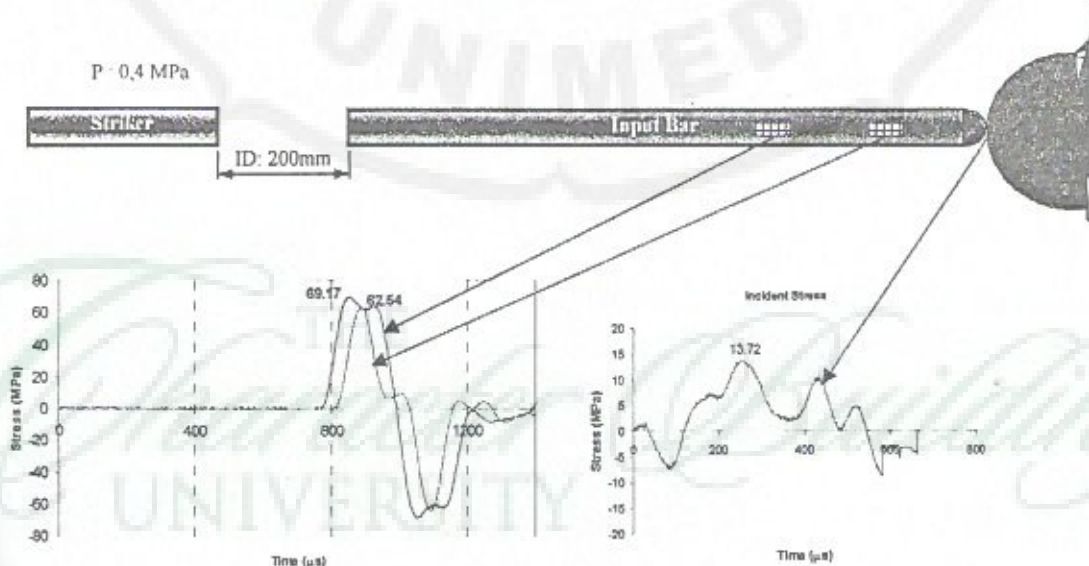
Gambar 4 menunjukkan tegangan insiden tipikal yang masuk ke dalam helm. Gambar 4 menggunakan tekanan 0,4 MPa dan jarak impact 200mm diperoleh tegangan impact yang terukur pada lokasi a sebesar 69,17MPa. Akan tetapi, besarnya tegangan yang dapat ditransmisikan ke dalam helm hanya sebesar 13,72 MPa.

Gambar 4 tersebut menunjukkan kepada kita bahwa intensitas tegangan insiden tergantung pada tegangan impact yang dihitung dari hasil pengukuran pada lokasi a dan b. Intensitas tegangan impact tergantung kepada kecepatan impact *striker* dan sifat-sifat mekanik kedua batang impact dan batang penerus.

Hasil ini menunjukkan bahwa tegangan insiden yang masuk ke dalam helm mempunyai konfigurasi yang sama, yaitu membentuk setengah gelombang sinus. Hal ini dimungkinkan oleh batang ujung tumpul dimana terjadi pemusatan tegangan pada permukaan helm.



Gambar 3. Tegangan Impact dan tegangan insiden (P=0,4 MPa; Jarak impact: 450mm)



Gambar 4. Tegangan impact dan tegangan insiden (P=0,4 MPa; Jarak impact: 200mm)

#### Analisis retakan pada permukaan helm

Gambar 5 menunjukkan lokasi pengimpakan dan karakteristik kerusakan yang dialami helm batang ujung rata, terlihat bahwa dengan tegangan *insiden stress* sebesar 9,2 MPa, helm tersebut telah mengalami kegagalan.

Gambar 6 menunjukkan lokasi pengimpakan dan karakteristik kerusakan yang dialami helm batang ujung tumpul, terlihat bahwa dengan tegangan *insiden stress* sebesar 13,72 MPa, helm tersebut telah mengalami kegagalan.

Dari bentuk retakan yang terlihat pada Gambar 5 dan Gambar 6 sangatlah memberikan informasi yang berarti, bahwa perbedaan permukaan antara batang ujung rata dan batang ujung tumpul menunjukkan bentuk retakan yang berbeda. Dimana pada hasil pengimpakan batang ujung rata terlihat retakan terjadi kedua arah, yaitu arah-X dan arah Y, sedangkan untuk batang ujung tumpul retakan hanya pada satu arah yaitu arah Y.

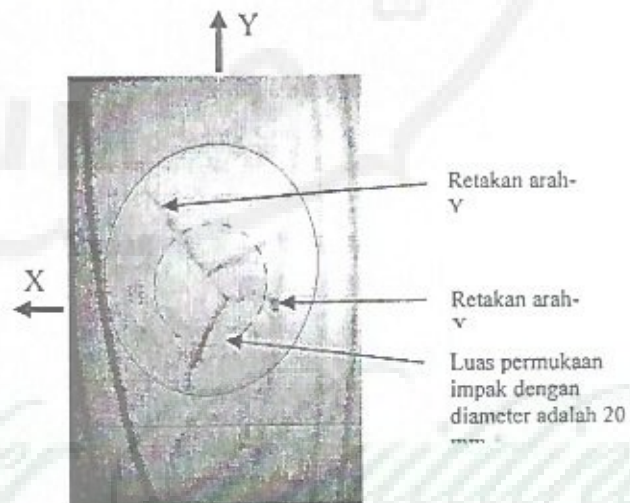
Pernyataan di atas memperkuat alasan yang memperlihatkan bahwa retakan-retakan yang panjang terjadi pada spesimen sangat mendominasi terjadi pada daerah yang menuju arah-Y, yaitu retakan yang diakibatkan oleh rambatan gelombang tegangan tarik menuju arah penampang yang lebih kecil yaitu arah lebar helm.

Hal ini disebabkan karena pada permukaan spesimen helm terdapat tekukan-tekukan yang

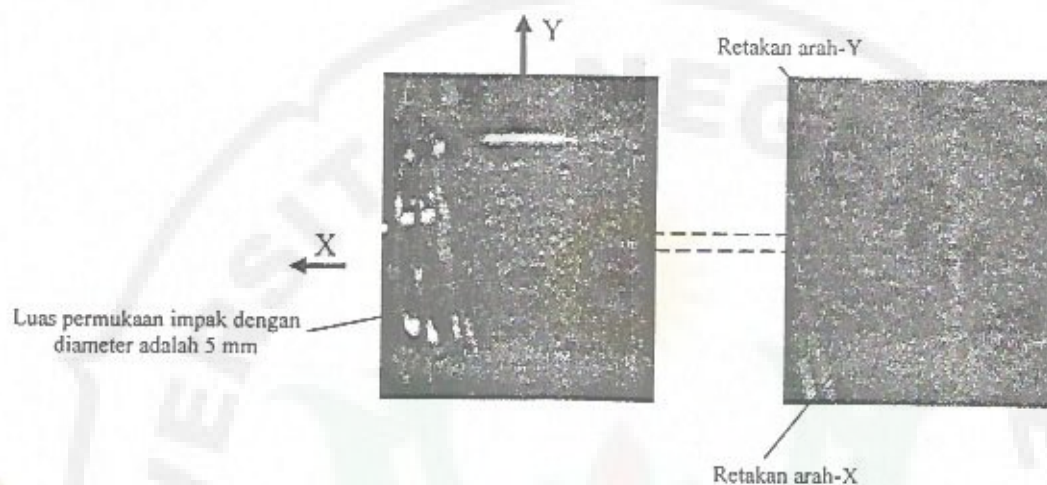
bertingkat yang tujuannya dibuat untuk menghambat rambatan gelombang tegangan yang terjadi ketika permukaan spesimen mengalami pembebanan impak dan tekukan yang terdapat pada permukaan spesimen bertujuan juga untuk memperkecil luas permukaan yang akan mengalami kejatuhan benda dari tempat yang tinggi sehingga sesedikit mungkin terjadinya konsentrasi tegangan pada permukaan yang mengalami benturan dapat dihindari.

Fenomena dari kedua gambar retakan yang terjadi akibat pengimpakan adalah untuk batang ujung rata membuktikan sebaran tegangan yang masuk pada permukaan helm menuju kesegala arah sedangkan untuk batang ujung tumpul terjadi pemusatan tegangan pada permukaan helm dan hal ini dibuktikan dengan lebih besarnya tegangan yang ditransmisikan ke dalam helm batang ujung tumpul.

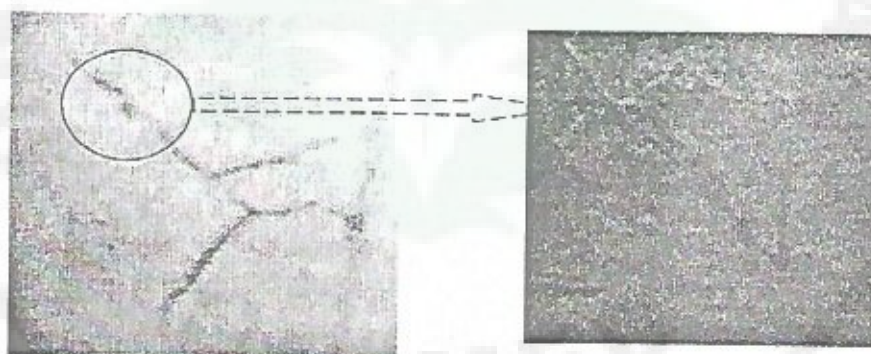
Mekanisme kerusakan yang terjadi pada spesimen helm diakibatkan oleh tegangan tarik, bukan disebabkan oleh tegangan tekan. Dalam penelitian ini, untuk melihat karakteristik kerusakan yang terjadi pada spesimen helm hasil pengujian digunakan alat bantu *Digital Microscop* (Keyence, Co) dengan pembesaran 50 kali terhadap semua bentuk kerusakan yang diperoleh dari hasil pengujian terlihat pada Gambar 7. Pada tegangan insiden yang lebih tinggi helm mengalami keretakan *catastrophically*.



Gambar 5. Bentuk retakan yang terjadi pada permukaan impak batang ujung rata



Gambar 6 Bentuk retakan yang terjadi pada permukaan impact batang ujung tumpul



Gambar 7 Karakteristik kerusakan

## 5. Kesimpulan

Dari hasil dan pembahasan yang telah diuraikan di atas dapatlah disimpulkan bahwa bentuk dan intensitas tegangan impact yang timbul tergantung pada laju pembebanan batang impact. Perbedaan bahan batang impact dan batang penerus serta perbedaan permukaan (ujung rata dan ujung tumpul) menunjukkan adanya perbedaan respon yang diterima helm. Mekanisme kerusakan yang terjadi pada spesimen helm diakibatkan oleh tegangan tarik, bukan disebabkan oleh tegangan tekan. Pada tegangan insiden yang lebih tinggi helm mengalami keretakan *catastrophically*.

## Daftar Pustaka

- Syam B., S. Rizal, B.W. Sentono, A.Nayan, dan B.M.Siregar, (2003), "Respon Helmet Industri yang Dikenai Beban Impact Kecepatan Tinggi", Buletin Utama Teknik, Vol.7, No.3, hal. 196-203
- Siregar B.M., A. Nayan, B. Syam, dan B.W.Sentono., (2004), "Aplikasi Teknik Dua Gage Dalam Observasi Respon Helmet Industri yang Dikenai Beban Impact", Buletin Utama Teknik, Vol.8, No.1, hal. 29-35.
- Syam, B., (1996), A Measuring Method for Impact Tensile Strength and Impact Fracture Behaviors of Brittle Materials, A Doctoral Dissertation, Muroran Institute of Technology, Muroran, Japan, pp. 29-98.
- Yanagihara, N., Theory of One-Dimensional Elastic Wave for the Measurement of the Impact Force, Bulletin of JSME, vol. 43, 1977, pp. 40-48.