

MEKANIK PEPEJAL

Teori dan Penyelesaian Masalah

Penulis:

Yahaya Ramli, Mahmud Abd Hakim Mohamad & Mohd Shahir Yahya

email:

hakim@uthm.edu.my & shahir@uthm.edu.my

Abstrak:

Buku ini membincangkan tentang tegasan, terikan dan kekenyalan bahan yang menjadi asas kajian bidang mekanik pepejal atau kekuatan bahan. Penjelasan dilanjutkan kepada masalah tindakan daya, momen lentur, penghantaran kuasa, silinder nipis dan analisis sifat bahan menerusi ujian mekanikal. Buku disusun agar sesuai digunakan untuk semua pelajar kejuruteraan pada peringkat awal pengajian. Setiap bab mencakupi ringkasan prinsip dan formula serta sebahagian masalah asas yang disediakan contoh penyelesaian hingga bersesuaian untuk dijadikan panduan dalam menangani masalah pembebanan bahan yang lebih kompleks. Penulis mempunyai banyak pengalaman mengajar kursus mekanik bahan di pelbagai peringkat pengajian kejuruteraan. Huraian yang mantap dan padat, langkah demi langkah dalam buku ini mampu membantu proses pemahaman dan pembelajaran asas bidang mekanik pepejal.

Kata Kunci: Mekanik Pepejal, Kekuatan Bahan & Tegasan dan Terikan

MEKANIK PEPEJAL

Teori dan Penyelesaian Masalah

YAHAYA RAMLI
MAHMOD ABD HAKIM MOHAMAD
MOHD SHAHIR YAHYA


**Penerbit
UTHM**
2025

© Penerbit UTHM
Cetakan Pertama 2025

Hak cipta terpelihara. Menghasilkan semula mana-mana artikel, ilustrasi dan kandungan buku ini dalam apa jua bentuk elektronik, mekanikal fotokopi, rakaman atau apa-apa bentuk tanpa kebenaran bertulis terlebih dahulu daripada Pejabat Penerbit Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Parit Raja, Batu Pahat, Johor adalah dilarang. Mana-mana rundingan tertakluk kepada pengiraan royalti.

Penulis: Yahaya Ramli, Mahmod Abd Hakim Mohamad & Mohd Shahir Yahya.

No. ISBN: 978-629-490-166-7

Diterbit oleh:
Penerbit UTHM
Universiti Tun Hussein Onn Malaysia
86400 Parit Raja,
Batu Pahat, Johor
No. Tel: 07-453 8698 / 8529
No. Faks: 07-453 6145

Dicetak oleh:
Penerbit UTHM
Universiti Tun Hussein Onn Malaysia
86400 Parit Raja,
Batu Pahat, Johor
No. Tel: 07-453 8698 / 8529
No. Faks: 07-453 6145

Laman web: <http://penerbit.uthm.edu.my>

E-mel: pemasaran.uthm@gmail.com

<http://e-bookstore.uthm.edu.my>

Penerbit UTHM ialah anggota
Majlis Penerbitan Ilmiah Malaysia
(MAPIM)



Data Pengkatalogan-dalam-Penerbitan

Perpustakaan Negara Malaysia

Rekod katalog untuk buku ini boleh didapati
dari Perpustakaan Negara Malaysia

ISBN 978-629-490-166-7

ISI KANDUNGAN

<i>Senarai Singkatan</i>	vii
<i>Senarai Rajah</i>	ix
<i>Senarai Jadual</i>	xiii
<i>Prakata</i>	xv
<i>Penghargaan</i>	xix
BAB 1 Tegasan, Terikan dan Kekenyalan	1
BAB 2 Daya Ricih dan Momen Lentur	45
BAB 3 Tegasan Lentur Rasuk	79
BAB 4 Kilasan Aci Bulat	111
BAB 5 Silinder dan Kelompang Nipis	141
BAB 6 Ujian dan Sifat Mekanikal Bahan Kejuruteraan	159
<i>Lampiran</i>	191
<i>Bibliografi</i>	197
<i>Biografi Penulis</i>	201
<i>Indeks</i>	203

PRAKATA

Buku ini diterbitkan dengan matlamat untuk menyediakan bahan rujukan utama dan teks yang berkaitan dengan teori dan contoh penyelesaian masalah dalam bidang mekanik pepejal. Buku ini sesuai dijadikan rujukan utama oleh para pelajar kejuruteraan dan teknologi di institusi pengajian tinggi, politeknik dan institut latihan kemahiran di Malaysia, sama ada pada peringkat ijazah, diploma serta sijil. Buku ini mengetengahkan asas mekanik pepejal yang harus dikuasai oleh para pelajar bidang kejuruteraan dan teknologi pada peringkat ijazah, diploma dan sijil. Walaupun bidang mekanik pepejal itu terlalu luas, namun buku ini ditulis dan dirombak sebaik mungkin agar memudahkan pemahaman pembaca pada peringkat asas. Di samping itu, bahan perbincangan yang diketengahkan dalam buku ini juga telah disusun hingga diyakini mampu menyediakan asas kepada mereka yang berminat untuk mengkaji persoalan yang lebih mencabar dalam penggunaan bidang mekanik pepejal yang lebih kompleks.

Kandungan buku ini juga disusun agar sesuai untuk dijadikan rujukan oleh para jurutera yang berhasrat untuk mengulang-kaji atau memperkaya pengetahuan asas mereka dalam bidang mekanik pepejal. Sebahagian daripada kandungan buku ini boleh dimanfaatkan oleh calon yang akan menduduki peperiksaan kompetensi Bahagian A - Matematik Praktik (*Practical Mathematic*) untuk Jurutera Stim dan Jurutera Enjin Pembakaran Dalam, Gred Satu dan Gred Dua, kendalian Jabatan Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan (JKKP), Malaysia.

Buku ini dengan judul “Mekanik Pepejal: Teori dan Penyelesaian Masalah” disusun mengandungi enam bab. Pembahagian dan aturan bab digarap secara teliti agar tahap pemahaman pembaca dan proses penguasaan asas ilmu mekanik pepejal boleh berkembang secara berperingkat. Perbincangan dalam setiap bab diolah bermula dengan pengenalan terhadap bab dan disusui dengan teori yang membolehkan penerbitan persamaan. Pemahaman teori dikaitkan pula dengan penggunaan melalui penyelesaian masalah dan contoh pengiraan. Sebagai pengenalan, Bab 1 mengetengahkan perbincangan mengenai perkara asas sifat mekanik pepejal, iaitu tegasan, terikan dan kekenyalan. Huraian tentang ciri dan sifat penting bahan dalam aspek mekanik bahan disusui dengan contoh penyelesaian masalah didapati mampu meningkatkan kefahaman asas dan dihayati pembaca. Beberapa jenis pembebanan atau tindakan beban dipersembah secara tersusun. Bab 2 mencakupi perbincangan

dan huraian tentang teori dan permasalahan yang berkaitan dengan daya ricih dan momen lentur. Kaedah analisis bersekali dengan penentuan magnitud dan arah daya ricih dan momen lentur serta pembinaan dan penghuraian gambar rajah kedua-dua sifat mekanik pepejal berkenaan.

Bab 3 pula menyetengahkan perbincangan tentang tegasan lentur dialami rasuk oleh tindakan daya atau beban luar. Perbincangan melibatkan penentuan sentroid dan momen kedua luas keratan rasuk. Justeru, bentuk dan dimensi keratan rentas rasuk memainkan peranan besar dalam aspek pesongan rasuk. Bab 4 menghuraikan teori penjanaan kilasan dan penghantaran kuasa oleh sebatang aci bulat yang digunakan untuk pemacuan beban. Perbincangan teori dan penyelesaian masalah melibatkan perkaitan antara tegasan ricih, momen piuh, momen kedua kutub luas dan modulus ketegaran bahan. Perbincangan dalam Bab 5 menjurus kepada pengenalan teori dan penggunaan silinder dan kelompang nipis. Penjelasan tentang jenis silinder dan kelompang nipis sangat penting kerana banyak tangka dan pengandung terkanan menggunakan struktur jenis ini. Di samping itu, perbincangan dan penyelesaian masalah yang melibatkan terikan dua dimensi turut disertakan dalam bab ini. Bab 6 khusus membincangkan tentang ujian dan sifat mekanikal bahan. Teori dan penyelesaian masalah dibincangkan melalui kaedah ujian dan penentuan sifat mekanikal bahan yang dikenal pasti untuk tujuan penggunaan tertentu. Ujian tegangan dan perubahan dimensi bahan menjadi aspek perbincangan utama. Penggunaan nisbah Poisson dan tegasan tiga dimensi turut dibincangkan dalam bab ini.

Penampilan buku ini dimantapkan lagi dengan latihan yang diberikan pada hujung setiap bab. Oleh itu, pembaca disarankan agar mengambil peluang untuk meningkatkan lagi pemahaman tentang asas mekanik pepejal dengan cara menyelesaikan latihan berkenaan. Sebahagian besar daripada bahan yang dibincangkan dalam buku ini telahpun didedahkan kepada pelajar semasa penulis memberi kuliah kursus mekanik pepejal di beberapa buah insititusi pengajian tinggi seperti Universiti Teknologi Malaysia (UTM), Universiti Tun Hussien Onn Malaysia (UTHM), Universiti Pertahanan Negara Malaysia (UPNM), Akademi Angkatan Tentera Malaysia (ATMA), *School of Professional and Continuing Education (SPACE, UTM)*, Institut Teknologi Tinggi Kulim (ITTK) dan Open University Malaysia (OUM).

Penulis berharap penerbitan ini mampu memperkasa penerbitan ilmu kejuruteraan dan teknologi serta kepustakaan dalam Bahasa Melayu, lebih-lebih lagi dalam bidang mekanik pepejal. Penulis sentiasa bersedia untuk menerima sebarang teguran dan komen positif daripada pembaca bagi meningkatkan lagi kualiti persembahan buku ini untuk tujuan penyebaran ilmu. Kehadiran buku ini dalam pasaran pendidikan Malaysia diharap mampu menyumbang ke arah pembangunan negara dan kesejahteraan masyarakat Malaysia.

Yahaya Ramli

Universiti Teknologi Malaysia (UTM)

Mahmod Abd Hakim Mohamad

Mohd Shahir Yahya

Universiti Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM)

2025

PENGHARGAAN

Melalui ruang yang terhad ini, penulis ingin mengambil kesempatan untuk merakamkan ucapan penghargaan yang tak terhingga kepada semua pihak dan individu yang terlibat dalam memberi bantuan secara langsung atau tidak langsung serta pelbagai bentuk galakan demi melengkapkan pembangunan dan penulisan buku ini. Penulis berasa amat bertuah dan berterima kasih kepada semua pihak yang berkenaan di Universiti Teknologi Malaysia (UTM), Johor Bahru dan Universiti Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM), Batu Pahat, Johor kerana memberi peluang dan ruang untuk memudahkan lagi penulis berkarya hingga terbitnya buku ini. Penulis rasa sangat terhutang budi kepada pihak Penerbit UTHM yang banyak membantu dalam proses merealisasi projek penerbitan buku ini. Penghargaan khususnya buat semua ahli keluarga kami yang banyak bersabar, memahami serta berkongsi suasana kesuntukan masa yang dilalui semasa kami kesibukan menangani projek penulisan buku ini.

Yahaya Ramli

Mahmod Abd Hakim Mohamad

Mohd Shahir Yahya

BAB 1

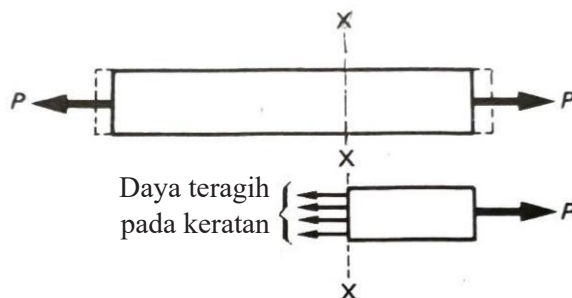
TEGASAN, TRIKAN DAN KEKENYALAN

PENGENALAN

Dalam mereka bentuk sesebuah struktur atau mesin, jurutera atau pereka bentuk mestilah memastikan setiap komponen adalah teguh dan boleh harap untuk menampung sebarang daya yang bertindak ke atas struktur atau mesin berkenaan. Kursus yang menyingkap hubungan antara daya luar yang bertindak ke atas sebuah unsur dengan tegasan yang terjana di dalam unsur dinamai mekanik pepejal atau kekuatan bahan. Fenomena lain yang mungkin bersekali dalam hubungan ini termasuklah pesongan dan ubah bentuk bahan. Perkataan analisis tegasan dan trikan digunakan untuk memperihalkan beberapa bahagian khusus dalam kursus ini.

TEGASAN NORMAL

Rajah 1.1 menunjukkan sebatang bar lurus yang mengalami sepasang daya, P yang sama besar tetapi bertentangan arah. Kedua-dua daya ini cenderung untuk meregang bar. Bar dikatakan berada dalam keadaan tegangan dan dinamai bar ikatan, ataupun ringkasnya ikatan. Daya, P kerap dirujuk sebagai beban ke atas bar.



Rajah 1.1 : Bar mengalami tindakan daya bertentangan arah

BAB 2

DAYA RICIH DAN MOMEN LENTUR

PENGENALAN

Daya ricih ialah daya yang bertindak selari dengan permukaan atau keratan rentas sesuatu objek berkenaan. Momen lentur ialah momen yang wujud apabila daya luar dikenakan kepada mana-mana unsur atau objek hingga menyebabkan objek berkenaan mengalami lenturan. Daya ricih dan momen lentur ialah pembebanan paling asas dialami oleh kebanyakan struktur kejuruteraan. Namun demikian, kegagalan struktur terutamanya rasuk adalah kerana tindakan daya ricih yang bersekali dengan momen lentur. Kajian tentang tindakan daya ricih dan momen lentur adalah penting untuk menentukan magnitud dan kedudukan parameter ini yang memberi maklumat keadaan kritikal.

RASUK

Rasuk ialah bar yang menanggung tindakan daya luar pada arah atau sudut tertentu terhadap paksi membujur bar. Kebanyakan rasuk dikatakan mendatar dan lurus serta daya luar boleh dianggap berkedudukan tegak terhadap paksi membujur rasuk, melainkan tersedia kenyataan yang menyatakan sebaliknya. Dalam praktik kejuruteraan, salah satu beban yang ditanggung oleh rasuk itu ialah berat rasuk itu sendiri dan bertindak tegak menghala ke bawah. Walau bagaimanapun, berat rasuk mungkin diabaikan kecuali jika nilai berkenaan dinyatakan dan mesti diambil kira. Dalam usaha menghalang daripada jatuh atau terpesong, rasuk perlukan sokong atau alas. Susunan sebegini menjana daya imbalan yang dinamai tindak balas. Rasuk disokong mudah (atau bebas) ialah rasuk yang terletak di atas sokong “pinggir tajam”, iaitu sejenis sokong yang menjana daya menghala ke atas untuk mengimbangi beban. Namun demikian, sokong pinggir tajam tidak menghalang daripada berlakunya putaran rasuk. Rajah 2.1 menunjukkan rasuk menanggung beberapa beban, W . Rasuk dilengkapi dua buah sokong mudah pinggir tajam dengan tindak balas R_1 dan R_2 .

BAB 3

TEGASAN LENTUR RASUK

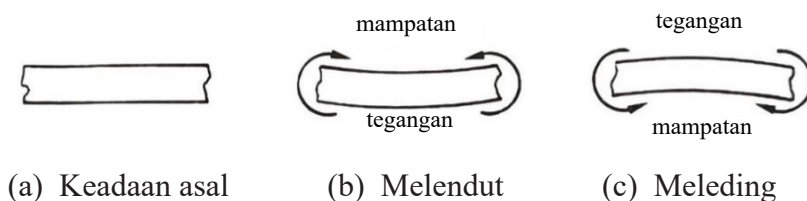
PENGENALAN

Rasuk sangat banyak digunakan dalam pembinaan pelbagai jenis struktur kejuruteraan seperti bangunan, jambatan, jalan raya bertingkat, dermaga, jeti, kerangka mesin, terowong, pintu gerbang dan tangki air. Rasuk mungkin diperbuat daripada pelbagai jenis bahan seperti keluli, konkrit, kayu dan bahan komposit. Oleh sebab ciri pembebanan, rasuk menanggung tegasan akibat lenturan bergantung kepada jenis beban, termasuk beban rasuk itu sendiri. Tegasan lentur rasuk terdiri daripada gabungan tegasan tegangan dan mampatan.

BENTUK TEGASAN LENTUR

Apabila bar mengalami beban lentur, tegasan membujur akan terhasil di dalam keseluruhan bahan. Nilai tegasan berbeza-beza di keseluruhan setiap keratan rentas dan serta di keseluruhan panjang rasuk. Katakan rasuk pada keadaan asal tanpa kenaan beban adalah lurus dan mendatar seperti ditunjukkan dalam Rajah 3.1(a).

Apabila rasuk menanggung momen lentur melendut seperti dalam Rajah 3.1(b), lapisan bawah akan teregang menyebabkan bahan di zon berkenaan mengalami tegangan. Lapisan atas pula termampat. Apabila rasuk menanggung momen lentur meleding seperti dalam Rajah 3.1(c), berlaku tegangan di lapisan atas dan mampatan di lapisan bawah rasuk.



Rajah 3.1 : Keadaan rasuk mengalami tindakan beban

BAB 4

KILASAN ACI BULAT

PENGENALAN

Tegasan yang terjana akibat lenturan rasuk adalah penting buat jurutera dan penggunaan kejuruteraan. Situasi yang hampir sama penting berlaku apabila tegasan terjana dalam kes aci terkilas atau terpiuh ketika memindahkan kuasa. Dalam kes aci statik, aci dikatakan mengalami momen piuh. Sementara itu, aci berputar pula dikatakan mengalami momen piuh putaran atau lebih dikehendaki sebagai daya kilas. Dalam kes pemacuan enjin, kilasan ini juga dirujuk sebagai momen putaran.

Kebanyakan aci berputar menyambungkan enjin atau motor, atau lebih umum dikenali sebagai pemacu, dengan beban yang dipacu. Sebagai contoh aci enjin kereta digunakan untuk memacu gandar atau roda melalui kotak gear. Aci pada motor elektrik digunakan untuk memacu pam dan pemampat. Sementara itu, aci turbin stim atau turbin gas digunakan untuk memacu generator untuk mendapatkan skala kuasa yang lebih besar.

ANGGAPAN

Teori mudah kilasan bergantung kepada beberapa anggapan, iaitu;

1. Bahan aci adalah seragam secara keseluruhan atau homogen.
2. Aci berkeratan bulat, padu atau geronggang.
3. Aci pada awalnya lurus dan tanpa tegasan.
4. Beban terdiri daripada momen piuhan (atau daya kilas) dan paksi beban sekena dengan paksi aci.
5. Hukum Hooke dalam kes ricih boleh digunakan pada setiap lapisan lilitan bahan berkenaan.
6. Keratan rentas kekal satah rata dan jejari kekal lurus walaupun terpiuh.

BAB 5

SILINDER DAN SFERA KELOMPANG NIPIS

PENGENALAN

Dalam penggunaan kejuruteraan dan industri, bekas bertekanan berbentuk silinder dan sfera sangat banyak digunakan. Antaranya adalah seperti tangki gas dan cecair, dandang, bekas pengasing dan penapis, penumpuk, pemeluwap dan penyejat serta pelbagai lagi. Secara umum, tebal dinding silinder atau kelompang sfera adalah sangat kecil berbanding diameter silinder atau sfera. Jika tebal dinding silinder atau kelompang sfera adalah lebih kecil daripada $1/10$ hingga $1/15$ diameter, maka bekas sebegini dinamai silinder dan sfera kelompang atau dinding nipis. Oleh sebab dinding yang nipis, agihan tegasan boleh dianggap seragam di dalam struktur bahan dinding atau kelompang silinder dan sfera nipis berkenaan.

TEGASAN SILINDER BERDINDING NIPIS

Tegasan lilitan (gegelang), σ_H dan tegasan membujur, σ_L pada kelompang (dinding) silinder nipis yang mengalami tekanan dalam P ialah

$$\sigma_H = \frac{Pd}{2t} \quad \text{dan} \quad \sigma_L = \frac{Pd}{4t}$$

dengan d ialah garis pusat silinder dan t ialah tebal dinding silinder.

Pertambahan isi padu kelompang silinder secara berkadar ialah

$$\frac{\delta v}{v} = \frac{Pd}{4tE} (5 - 4\nu)$$

dengan ν ialah nisbah Poisson dan E ialah modulus kekenyalan bahan.

BAB 6

UJIAN DAN SIFAT MEKANIKAL BAHAN KEJURUTERAAN

PENGENALAN

Bahan kejuruteraan mesti melalui proses ujian tertentu untuk mengenal pasti sifat mekanikal yang dimiliki bahan berkenaan. Data dan sifat setiap bahan kejuruteraan yang diperolehi melalui ujian adalah penting dalam aspek kelangsungan amalan kejuruteraan seharian. Beberapa jenis ujian standard dilakukan dengan menggunakan spesimen bahan yang berkenaan. Walau bagaimanapun, kaedah ujian mungkin berbeza-beza menurut piawaian mana yang menjadi rujukan.

UJIAN TEGANGAN

Sifat tegangan bahan mekanikal dikenal pasti dengan ujian tegangan. Sifat atau kelakuan spesimen bahan kejuruteraan seperti keluli akan diuji sehingga patah dalam ujian tegangan. Mesin yang digunakan dalam ujian tegangan kerap dikenali sebagai mesin ujian universal.

SIFAT PEMANJANGAN

Sebuah spesimen ujian tegangan diperbuat daripada bahan tertentu dengan panjang tolok, L dan luas keratan rentas asal, A . Seterusnya, pemanjangan selepas patah, spesimen berkenaan boleh diungkap sebagai

$$e = c\sqrt{A} + bL$$

Justeru, peratus pemanjangan spesimen boleh diungkapkan sebagai,

$$\% \text{ pemanjangan} = 100 \left(\frac{c\sqrt{A}}{L} + b \right)$$

dengan b dan c ialah pemalar Unwin untuk bahan berkenaan.

BIBLIOGRAFI

- Alan Darbyshire, Charles Gibson. 2022. Mechanical Engineering. CRC Press. New York.
- Andrew Pytel, Ferdinand L. Singer. 1987. Strength of Materials. Harpercollins. U.K.
- Ansel C. Ugural. 2007. Mechanics of Materials. John Wiley & Sons. Singapore.
- Ansel C. Ugural, Saul K. Fenster. 2003. Advanced Mechanics of Materials and Applied Elasticity. Pearson. U.K.
- Barry J. Goodno, James M. Gere. 2017. Mechanics of Materials. Cengage Learning. Singapore.
- Bolton W. 1990. Engineering Science. Heinemann Newnes. Oxford, England.
- Carl T. F. Ross. 1999. Mechanics of Solids. Elsevier. Amsterdam, Netherlands.
- Craig Roy R., Taleff Eric M. 2020. Mechanics of Materials. John Wiley & Sons. New Jersey, USA.
- E. Huges, C. Huges. 1977. Engineering Science. Longman Scientific & Technical. Hong Kong.
- Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston Jr., John T. DeWolf, David F. Mazurek. (2014). Mechanics of Materials. McGraw Hill. Singapore.
- Hibbeler, R. C. 2023. Mechanics of Materials. Pearson Education. London.
- Hibbeler, R. C. 2018. Statics and Mechanics of Materials. Pearson Education. London.
- Irving H. Shames, James M. Pitarresi. 1999. Introduction to Solid Mechanics. Pearson. U.K.
- J. L. Meriam, L. G. Kraige, William J. Palm. 2003. Engineering Mechanics: Statics. John Wiley & Son. Singapore.
- J. L. Meriam, L. G. Kraige. 1998. Engineering Mechanics: Statics and Dynamics. John Wiley & Son. Singapore.

- J. Lemaitre, J.-L. Chaboche. 1990. *Mechanics of Solid Materials*. Cambridge University Press. Cambridge, England.
- Jacob Lubliner, Panayiotis Papadopoulos. 2013. *Introduction to Solid Mechanics: An Integrated Approach*. Springer. Singapore.
- James F. Shackelford. 2015. *Introduction to Materials Science and Engineering: A Guided Inquiry*. Pearson Education. London.
- James M. Gere, Stephen P. Timoshenko. 1997. *Mekanik Bahan*. Terj. Ahmad Zafri Zainudin, Muhammad Her Jantan, Yahaya Ramli. Penerbit UTM. Skudai, Johor.
- John Bird, Carl Ross. 2020. *Mechanical Engineering Principles*. Routledge. London.
- Khurmi, R. S., Khurmi, N. 2015. *Strength of Materials*. S. Chand Publishing. Delhi.
- Lallit Anand, Ken Kamrin, Sanjay Govindjee. 2022. *Introduction to Mechanics of Solid Materials*. Oxford University Press. USA.
- Lancaster P. R., Mitchell D. 1977. The Macmilan Press Ltd., Exeter, England.
- Lim Poh Seng. Tay Seng How. Koh Kok Pin. *Strength of Materials for Polytechnic*. 1998. Prentice Hall. Singapore.
- Madhukar Vable. 2002. *Mechanics of Materials*. Oxford University Press. USA.
- Mohd. Imran Ghazali. 2002. *Mekanik Kejuruteraan: Statik*. *Mekanik Kejuruteraan: Statik – Teori, Contoh Penyelesaian dan Masalah*. Jilid 1. Penerbit UTM, Skudai, Johor.
- Mohd. Imran Ghazali, Shukur Abu Hassan. 2002. *Mekanik Kejuruteraan: Statik – Teori, Contoh Penyelesaian dan Masalah*. Jilid 2. Penerbit UTM, Skudai, Johor.
- Rajput R. K. 2007. *Strength of Materials*. S. Chand. New Delhi.
- Ray Hulse, Keith Sherwin, Jack Cain. 2002. *Solid Mechanics*. Palgrave Macmillan. London.
- S. M. A. Kazimi. 2017. *Solid Mechanics*. McGraw Hill. New Delhi.
- S. S. Bhavikatti. 2010. *Mechanics of Solids*. New Age International Publisher. New Delhi.
- Taylor G. W. 1980. *Mechanical Science*. Stanley Thornes (Publishers) Ltd. Cheltenham, England.

- Thomas E. Scott. 2000. Power Transmission: Mechanical, Hydraulic, Pneumatic, and Electrical. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey.
- Urray S. A., Turner P. J. 1986. Solid Mechanics: Volume 1. Longman Scientific & Technical. Essex, England.
- Urray S. A., Turner P. J. 1986. Solid Mechanics: Volume 2. Longman Scientific & Technical. Essex, England.
- William D. Callister Jr., David G. Rethwisch. 2012. Fundamentals of Materials Science and Engineering. John Wiley & Sons. Singapore.
- William D. Callister, Jr., David G. Rethwisch. 2008. Materials Science and Engineering. Wiley. New Jersey, USA.
- Yip-Wah Chung, Monica Kapoor. 2022. Introduction to Material Science and Engineering. CRC Press. UK.
- Yusof Ahmad. 2001. Mekanik Bahan dan Struktur. Penerbit UTM Press. Skudai, Johor.

BIOGRAFI



Yahaya Ramli berkhidmat sebagai Profesor Madya, Skim Akademik Fleksibel (SAF) di Penerbit UTM Press, Universiti Teknologi Malaysia (UTM), Skudai Johor dan Perunding Bersekutu kepada syarikat perunding kejuruteraan mekanikal di Johor Bahru, Malaysia. Mantan Profesor Madya di Fakulti Kejuruteraan Mekanikal, UTM, Skudai Johor dan Universiti Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM), Batu Pahat, Johor. Graduan Kejuruteraan Mekanikal dari Institut Teknologi MARA (ITM), Shah Alam dan M.Sc (Sistem Kuasa Bendalir), University of Bath, UK. Beliau seorang Jurutera Profesional (P.Eng) berdaftar Lembaga Jurutera, Malaysia (BEM), Ahli Institut Jurutera, Malaysia (MIEM), Jurutera ASEAN Bersekutu (AAE), AFEO dan Ahli Teknologi Profesional (Ts) Lembaga Teknologis Malaysia (MBOT). Aktif sebagai penulis, penterjemah dan editor buku, serta penceramah kursus penulisan. Ahli seumur hidup Persatuan Penjemahan Malaysia (PPM). Berpengalaman bekerjasama dengan beberapa penerbit terkemuka untuk projek penulisan dan penerbitan buku. Memenangi beberapa anugerah penerbitan buku peringkat kebangsaan. Kerap dijemput untuk mengendalikan sesi latihan dan perundingan dalam bidang kejuruteraan mekanikal untuk industri minyak dan gas.



Mahmod Abd Hakim Mohamad ialah Pensyarah Kanan di Jabatan Kejuruteraan Mekanikal, Pusat Pengajian Diploma, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM), sejak 2011. Pada Jun 1996, beliau menamatkan pengajian dengan Sijil Kejuruteraan Mekanikal, Politeknik Ungku Omar, Ipoh. Selepas itu, beliau menyambung pelajaran dan selepas setahun, beliau mendapat diploma dalam bidang yang sama dari Politeknik Port Dickson. Pada tahun yang sama, beliau telah diterima sebagai juruteknik di STMicroelectronics Sdn. Bhd., Tanjung Agas selama dua tahun. Beliau melanjutkan pelajaran ke peringkat pengajian tinggi di Kolej Universiti Teknologi Tun Hussein Onn (KUiTTHO) dan memperoleh Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal dengan kepujian pada tahun 2002. Lulusan Universiti Putra Malaysia (M.Sc.) dalam

Kejuruteraan Aeroangkasa dan mula melibatkan diri dalam bidang penyelidikan dinamik bendalir pengiraan pada permulaan kajian sarjananya. Beliau aktif dalam produk penyelidikan dan inovasi dalam bidang pengajaran serta pembelajaran khususnya dalam bidang kejuruteraan reka bentuk. Beliau juga aktif menerbitkan pelbagai jurnal dan kertas persidangan serta aktif dalam penyelidikan dan penerbitan ilmiah. Beliau telah menerbitkan banyak kertas kerja jurnal berwasit dan prosiding berkongsi hasil penyelidikan dalam bidang kejuruteraan mekanikal. Beliau juga ahli teknologi profesional (Ts) Lembaga Teknologis Malaysia (MBOT).



Mohd Shahir Yahya ialah seorang Pensyarah Kanan yang aktif bukan sahaja dalam bidang pengajaran tetapi juga penyelidikan dan penulisan ilmiah di Universiti Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM), Batu Pahat Johor. Beliau memiliki PhD dalam Kejuruteraan Mekanikal, UTHM, Sarjana Kejuruteraan Sistem Pembuatan, UPM, dan Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Industri), UTM, menjadikan pakar dalam kejuruteraan mekanikal dan sistem pembuatan. Sepanjang kerjayanya, beliau telah menjawat beberapa jawatan penting,

termasuk sebagai Dekan Pusat Pengajian Diploma UTHM dan Ketua Jabatan Kejuruteraan Mekanikal. Dalam peranan ini, beliau berjaya memimpin dan mengurus program akademik, serta pembangunan jabatan dengan jayanya. Beliau juga ahli teknologi profesional (Ts) Lembaga Teknologis Malaysia (MBOT). Di samping tanggungjawab pentadbiran, Dr. Mohd Shahir juga sangat aktif dalam penyelidikan dan penerbitan ilmiah. Beliau telah menerbitkan banyak kertas kerja jurnal berwasit dan prosiding berkongsi hasil penyelidikan dalam bidang kejuruteraan mekanikal. Tambahan pula, beliau turut menyumbang kepada penulisan akademik dengan menerbitkan beberapa buku dan bab dalam buku yang berkaitan dengan bidang kejuruteraan. Ini membolehkan pelajar dan masyarakat umum mendapat manfaat daripada kepakarannya. Selain daripada penulisan akademik, Dr. Mohd Shahir juga aktif dalam media sosial. Beliau berkongsi berita terkini tentang perkembangan industri dan akademik. Kehadiran dalam media sosial membolehkan beliau berinteraksi dengan komuniti yang lebih luas dan mempromosikan aktiviti serta pencapaian dalam kejuruteraan mekanikal dan pendidikan. Dengan kepakaran teknikal, pengalaman pengurusan, dan penglibatan aktif dalam penerbitan serta media sosial, Dr. Mohd Shahir memainkan peranan penting dalam pembangunan akademik dan industri kejuruteraan.

INDEKS

A

aci 13, 14, 39, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139
aci bulat 113, 115, 118, 127, 130, 137, 138
aci geronggang 112, 113, 115, 117, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 128, 132, 138, 139
aci hujung terikat 134
aci padu 10, 39, 43, 95, 111, 112, 117, 118, 123, 124, 125, 126, 127, 130, 132, 134, 135, 137, 138, 139, 141, 147, 148, 150, 151, 152, 153, 154, 156, 157, 158, 160, 184, 185, 186, 189
aci simpai 13, 14, 39
atas 1, 4, 10, 11, 12, 13, 21, 22, 23, 24, 27, 38, 39, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 52, 55, 62, 64, 78, 79, 80, 81, 86, 87, 89, 90, 91, 93, 96, 97, 98, 99, 101, 102, 105, 107, 109, 134, 142, 143, 145, 150, 153, 160, 163, 164, 165, 173, 174, 186, 187

B

balikan 173
bar 1, 2, 5, 7, 8, 9, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 31, 35, 36, 37, 41, 42, 43, 45, 79, 95, 138, 153, 158, 160, 161, 171, 172, 175, 176, 184, 185, 186, 187, 189
Barba 160, 171, 172
bar bulat tirus 35
bar ikatan 1
bar komposit 21, 22, 23, 28, 29, 31
bar majmuk 28, 29, 41, 42
bar tirus 35, 36
beban tegangan 4, 7, 8, 11, 19, 25, 38, 175, 176, 184
beban teragih 48, 49, 50, 59, 60, 61, 62, 65, 69, 70, 71, 76, 77, 78, 95, 98, 101, 102, 107, 108

beban teragih seragam 48, 49, 59, 60, 61, 65, 69, 71, 76, 77, 78, 98
beban terpumpun 48, 51, 59, 65, 69, 70, 75, 76, 107
bebibir 10, 17, 18, 88, 89, 92, 94, 96, 97, 98, 99, 100, 106, 108
bentuk tak seragam 43
berat 9, 10, 11, 38, 43, 45, 59, 60, 76, 95, 107, 109, 123, 124, 157
berbeban 56, 58, 76, 78, 101, 176
bercantum 20, 38
besi tuangan 9, 10, 40, 96, 107, 108
bolt 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 37, 38, 40, 132, 133, 134
bukti 169, 170
bulat 7, 8, 12, 13, 35, 38, 86, 90, 92, 95, 106, 111, 113, 115, 118, 127, 130, 137, 138, 142, 154, 161, 172
bulat tirus 35

D

dandang 141, 146, 147, 158
daya dengan pemanjangan 165
daya kilas 111, 112, 113, 115, 118, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 127, 128, 130, 132, 133, 134, 136, 137, 138, 139
daya ricih 4, 5, 12, 18, 45, 47, 49, 50, 52, 53, 54, 55, 57, 59, 61, 63, 70, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 101, 136, 137
diameter minimum aci 127, 137
dinding silinder 141, 142, 143, 144, 145, 147, 155, 156, 157
dram 86, 88, 90, 156
dua arah 178, 180, 181, 187, 188, 189

E

elastik 162

G

gambar rajah 9, 50, 53, 55, 57, 61, 65, 69,
70, 73, 75, 76, 77, 78, 113, 118
Gerber 160, 174

H

had perkadaran 3, 161, 162, 167, 169, 170, 176
hasil ujian 162, 163, 165, 167, 169
Hooke 3, 80, 111, 161
hubungan 1, 3, 22, 23, 24, 27, 29, 30, 31, 32, 50,
73, 74, 90, 99, 119, 122, 125, 137, 144,
155, 160, 165, 173, 174
hubungan umum 73
hujung terikat 49, 69
hukum 3, 160, 161, 171, 172
hukum Barba 160, 171, 172
hukum Hooke 3, 161

I

ikatan 1

J

jalur 86, 88, 90
jalur keluli 86, 88, 90
jejari maksimum 119
jenis beban 79
jisim aci 126
julat lesu menghad 160, 173, 174, 187
julus 48, 49, 50, 55, 56, 57, 58, 69, 76, 77, 107

K

kaedah hampiran 93
kapit 14, 15
kayu 12, 13, 38, 79
kedudukan 13, 45, 61, 63, 64, 65, 71, 72, 76, 77,
78, 81, 90, 94, 95, 96, 101, 105, 107, 119
kekenyalan 3, 4, 6, 7, 19, 23, 24, 26, 30, 31, 32,
38, 39, 40, 41, 42, 80, 81, 86, 106, 141,
142, 147, 149, 151, 152, 153, 156, 157,
158, 169, 170, 178, 184, 186, 187, 188,
189
kekuatan tegangan 163, 173
kelaziman tanda 47
kelompang 141, 142, 144, 146, 147, 150, 151,
152, 153, 154, 157, 158
kelompang dandang 146, 147, 158
kelompang nipis 142, 147, 158

kelompang sfera nipis 150, 151, 152

keluli 5, 6, 21, 23, 24, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 33,
34, 35, 38, 40, 41, 42, 43, 79, 86, 88, 90,
92, 95, 108, 130, 131, 132, 134, 138, 139,
154, 156, 157, 159, 161, 164, 165, 169,
173, 178, 186, 187, 189

keluli mulur 165, 186, 187

kembar 14, 15, 16, 38

kenaan 75, 77, 79, 134, 135, 176

keratan 1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 16, 19,
20, 21, 22, 23, 26, 27, 28, 35, 36, 37, 38,
43, 45, 46, 47, 49, 50, 53, 61, 62, 63, 66,
68, 69, 70, 72, 75, 76, 79, 80, 81, 82, 83,
84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94,
95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104,
105, 106, 107, 108, 118, 119, 121, 123,
124, 129, 130, 134, 136, 144, 151, 155,
157, 159, 161, 162, 164, 165, 167, 168,
170, 171, 172, 176, 177, 187

keratan rentas bentuk-I 85, 88

keratan rentas bentuk-T 94, 100

keseimbangan rasuk 46

ketegaran 5, 112, 113, 114, 118, 120, 130, 131,
132, 134, 137, 138, 139

ketegaran kilasan 130, 131

kilasan 111, 112, 113, 115, 118, 125, 130, 131,
135, 137, 139

kipas 128, 129

komposit 21, 22, 23, 28, 29, 30, 31, 79

kuasa 17, 18, 111, 113, 118, 120, 121, 122, 123,
125, 128, 129, 137, 138, 139

kuasa penghantaran aci 118

kuasa berpindah 18, 113, 122, 125

kutub 83, 84, 112, 116, 117, 118, 121, 122, 123,
125, 126, 129, 130, 131, 132

L

landasan kereta api 14, 15, 32

lengkuk balas 68

lengkuk bulat 86

lentur 45, 47, 49, 50, 52, 53, 54, 55, 56, 57,
58, 59, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70,
71, 72, 73, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 86,
89, 92, 95, 96, 98, 99, 101, 102, 105, 107,
108, 112

lenturan mudah 80, 90

luas 2, 4, 6, 9, 10, 12, 13, 15, 16, 22, 23, 25,
26, 27, 28, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 89, 90,
91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 99, 100, 104,

105, 107, 109, 112, 116, 117, 118, 121,
122, 123, 124, 125, 126, 129, 130, 134,
136, 137, 145, 150, 155, 157, 159, 160,
163, 164, 165, 167, 170, 172, 178, 179,
180, 186, 202

M

majmuk 22, 28, 29, 41, 42
maksimum 9, 10, 13, 14, 16, 17, 18, 39, 41, 50,
64, 68, 70, 71, 75, 76, 77, 78, 81, 86, 88,
92, 93, 94, 95, 96, 98, 99, 101, 102, 103,
104, 105, 106, 107, 108, 109, 113, 114,
115, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124,
125, 126, 127, 128, 130, 132, 134, 136,
137, 138, 139, 146, 147, 151, 156, 157,
158, 162, 163, 164, 165, 171, 173, 174,
186
mampatan 2, 4, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 24,
25, 26, 29, 34, 35, 39, 40, 79, 80, 87, 88,
89, 96, 98, 102, 103, 105, 107, 109, 147,
175, 176, 177, 184, 186, 189
meleding 47, 55, 70, 79, 80, 98, 101, 102
melendut 47, 52, 54, 68, 77, 79, 80, 98, 101, 102,
104
melentur 41, 86
modulus 3, 4, 5, 7, 19, 23, 24, 26, 27, 30, 32, 40,
42, 80, 81, 86, 98, 99, 101, 106, 112, 114,
118, 120, 130, 131, 132, 138, 139, 141,
142, 147, 148, 149, 152, 153, 156, 165,
168, 176, 182, 184, 186, 187, 188
modulus kekenyalan 3, 4, 7, 19, 23, 24, 26, 30,
32, 40, 42, 80, 81, 106, 141, 142, 147, 149,
152, 153, 156, 184, 186, 187, 188
modulus keratan 81, 98, 99, 101, 130
modulus ketegaran 5, 112, 114, 118, 120, 130,
132, 138, 139
modulus kutub 130, 132
modulus Young 148, 165, 168, 176, 182, 186
momen kedua luas 80, 81, 82, 83, 84, 85, 91, 92,
94, 95, 96, 97, 99, 100, 104, 105, 107, 112,
116, 117, 122, 123, 126, 129, 130
momen lentur 45, 47, 49, 50, 52, 53, 54, 55,
57, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71,
72, 73, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 89, 92,
95, 96, 98, 99, 102, 105, 107
momen lentur maksimum 64, 68, 70, 71, 75,
76, 78, 95, 96, 98, 102, 105
momen lentur meleding 47, 79
momen lentur melendut 47, 68, 77, 79

momen piuh berpindah 116
momen rintangan 80, 81, 88, 89, 90, 91, 92, 93,
94, 99, 104, 105, 106
mulur 161, 162, 165, 186, 187

N

nilai 2, 3, 4, 7, 9, 11, 13, 14, 23, 27, 31, 32, 34,
38, 40, 41, 42, 45, 46, 48, 50, 55, 61, 63,
64, 65, 66, 67, 68, 70, 71, 73, 74, 76, 77,
78, 80, 81, 92, 94, 95, 96, 97, 99, 102, 105,
107, 113, 120, 121, 124, 127, 128, 130,
134, 135, 136, 138, 139, 146, 156, 161,
165, 169, 170, 173, 174, 175, 177, 186
nipis 136, 137, 139, 141, 142, 143, 144, 145,
147, 149, 150, 151, 152, 154, 156, 157,
158
nisbah Poisson 141, 142, 147, 148, 149, 151,
152, 153, 156, 157, 158, 160, 175, 176,
177, 178, 180, 182, 184, 187, 188, 189
nominal 163, 164
normal 20, 21, 37, 129, 173

P

padu 10, 39, 43, 95, 111, 112, 117, 118, 123,
124, 125, 126, 127, 130, 132, 134, 135,
137, 138, 139, 141, 147, 148, 150, 151,
152, 153, 154, 156, 157, 158, 160, 184,
185, 186, 189
paksi neutral 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87,
89, 90, 91, 92, 93, 94, 96, 97, 98, 99, 100,
101, 104, 105, 107
pekali pengembangan lurus 32
pemalar Unwin 159, 172
pemanjangan 3, 6, 7, 8, 9, 19, 26, 29, 30, 33,
34, 35, 36, 37, 38, 39, 42, 159, 160, 161,
162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169,
170, 171, 172, 173, 181, 186, 187
pembebanan 3, 5, 35, 45, 48, 49, 50, 53, 55,
61, 63, 64, 65, 68, 69, 71, 72, 75, 79, 94,
164, 173, 180, 181, 182, 183, 185
pembebanan berkitar 173
pembebanan dua dimensi 181, 182, 183
pendakap besi tuangan 96
pengganding 17, 18, 132, 133
pengurangan 124, 163, 164, 165, 170
penjimatan 123, 124, 125, 126
penjimatan jisim aci 126
peratus 93, 120, 123, 124, 125, 128, 138, 139,

146, 148, 152, 156, 158, 159, 160, 163,
164, 165, 169, 170, 172, 186, 187
peringkat 162, 164, 201
persamaan 46, 51, 61, 64, 67, 80, 90, 91, 92,
112, 115, 174
persamaan kilasan 112, 115
persamaan lenturan mudah 90
perubahan 2, 5, 28, 29, 34, 49, 103, 105,
113, 149, 156, 157, 160, 176, 178, 180,
182, 184, 185, 186, 187, 188, 189
perubahan dimensi 156, 187, 188
perubahan isi padu 184, 186, 189
perubahan tegasan 103, 105, 113
plastik 162
plat 11, 14, 15, 17, 33, 34, 38, 40, 41, 146, 156,
157, 158, 178, 179, 180, 181, 182, 184,
186, 187, 188
plat sambung 14, 15
pusat graviti 60, 72, 81

R

rasuk 45, 46, 47, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 55, 57,
59, 60, 61, 62, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 71,
72, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 86, 87,
88, 89, 90, 92, 93, 94, 95, 96, 98, 99, 101,
102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109,
111
rasuk julur 48, 49, 50, 55, 57, 69, 107
rasuk melentur 86
rata 111, 156, 157, 161, 180, 181, 182, 183
relang 13
ricih 4, 5, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 37, 38, 39,
41, 45, 46, 47, 49, 50, 52, 53, 54, 55, 56,
57, 58, 59, 61, 62, 63, 64, 69, 70, 72, 73,
74, 75, 76, 77, 78, 101, 111, 112, 113, 114,
115, 116, 117, 119, 120, 122, 123, 124,
125, 127, 128, 130, 132, 134, 136, 137,
138, 139, 142, 143, 156
ricih kembar 14, 15, 16, 38
ricih tunggal 14, 15
rim berputar 157
rivet 15, 16, 17, 41, 157
rod 5, 6, 13, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 30,
31, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 40, 41, 42
rod keluli 5, 24, 26, 33, 34, 38, 41

S

sahih 163, 164, 165, 186

sambungan lilitan 156, 158
sambungan membujur 146, 156, 157, 158
sambungan membujur dan lilitan 157
senarai anggapan 80
sentroid 81, 82, 91, 96, 97, 100, 104
seragam 5, 11, 19, 35, 37, 43, 48, 49, 54, 59, 60,
61, 62, 65, 69, 71, 72, 75, 76, 77, 78, 89,
92, 95, 98, 102, 107, 108, 111, 134, 136,
137, 141, 144, 161
serenjang 80, 147, 160, 175, 178, 179, 184
sfera nipis 141, 150, 151, 152
sifat 4, 80, 91, 93, 105, 112, 116, 130, 159, 161
silinder 19, 20, 22, 23, 35, 37, 83, 84, 86, 88,
90, 125, 141, 142, 143, 144, 145, 147, 148,
149, 150, 151, 153, 154, 155, 156, 157,
158
silinder dinding nipis 142, 149, 156
silinder dram 86, 88
silinder nipis 141, 142, 144, 151, 156, 157, 158
simetri 38, 59, 80, 82, 88, 90, 99, 107
simpai 13, 14, 39
sisi 19, 46, 47, 50, 69, 89, 156, 160, 176, 177,
178, 184, 188, 189
sokong mudah 45, 46, 51, 54, 59, 60, 61, 66,
71, 72, 74, 75, 76, 78
spesimen aluminium 168, 169
spesimen ujian tegangan 159, 171
sudut piuh maksimum 120, 122

T

tegangan 1, 2, 4, 5, 7, 8, 11, 12, 14, 19, 25, 26,
29, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 40, 79, 80, 87,
88, 89, 96, 98, 102, 103, 104, 105, 107,
109, 145, 146, 147, 150, 151, 155, 156,
157, 158, 159, 161, 162, 163, 164, 165,
167, 168, 169, 171, 173, 174, 175, 176,
177, 178, 184, 186, 187, 189
tegangan muktamad 164, 165, 168, 174, 186
tegasan 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14,
15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25,
26, 27, 28, 30, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38,
39, 40, 41, 42, 43, 50, 79, 80, 81, 86, 87,
88, 89, 90, 92, 95, 96, 98, 99, 102, 103,
104, 105, 106, 107, 108, 111, 112, 113,
114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121,
122, 123, 124, 125, 127, 128, 129, 130,
132, 134, 136, 137, 138, 139, 141, 142,
143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150,
151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158,

160, 161, 163, 164, 165, 167, 168, 169,
170, 173, 174, 177, 178, 179, 180, 181,
182, 184, 185, 186, 187, 188, 189

tegasan alah 163, 165, 168

tegasan bibir 88

tegasan bukti 169, 170

tegasan lentur 50, 86, 107, 108

tegasan lilitan 143, 144, 145, 146, 147, 148,
149, 150, 151, 153, 154, 156, 157, 158

tegasan maksimum 81, 86, 88, 95, 98, 99, 102,
106, 114, 118, 121, 123, 139

tegasan mampatan 5, 9, 10, 13, 14, 25, 34, 39,
87, 96, 98, 147

tegasan membujur 79, 141, 142, 144, 145, 146,
147, 148, 151, 157, 177

tegasan muktamad 187

tegasan nominal 163, 164

tegasan normal 20, 21, 37

tegasan ricih 4, 5, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18,
37, 38, 39, 41, 112, 113, 114, 115, 116,
117, 119, 120, 122, 123, 124, 125, 127,
128, 130, 132, 134, 136, 137, 138, 139,
142, 143, 156

tegasan sah 163, 164, 186

teragih seragam 48, 49, 59, 60, 61, 62, 65, 69,
71, 75, 76, 77, 78, 98, 144

terikan 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 23, 24, 27, 40, 87,
113, 114, 138, 139, 147, 148, 149, 151,
153, 154, 160, 161, 163, 164, 165, 167,
169, 170, 175, 176, 177, 178, 179, 180,
181, 182, 183, 184, 185

terikan ricih 5, 113, 138, 139

terikan sisi 160, 176, 177, 178, 184

terpindah 18, 113, 115, 116, 118, 122, 125, 126,
136, 137, 138, 139

terpumpun 48, 51, 59, 65, 69, 70, 75, 76, 78,
107

tiang 2, 9, 10, 23, 26, 27, 40, 189

tiang konkrit bertetulang 23

tindak balas 45, 46, 48, 49, 50, 51, 53, 54,
55, 59, 60, 61, 62, 65, 66, 69, 71, 72, 74,
75, 77, 78, 101

tindak balas rasuk 59, 61

tindak balas sokong mudah 51, 54, 61, 66, 72,
74

tirus 35, 36

titik 5, 46, 47, 48, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56,
57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67,
68, 69, 70, 75, 76, 77, 78, 80, 86, 92, 98,

101, 102, 105, 107, 113, 114, 142, 143,
147, 151, 161, 162, 163, 164, 165, 167,
169, 170

titik kontralentur 50, 61, 64, 65, 66, 77, 78

titik lengkok balas 65, 68

titik lengkok balas 68

tiub 13, 24, 25, 26, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 40, 41,
106, 115, 116, 117, 136, 139, 145, 157

tiub nipis 136, 139

tunggal 14, 15, 134

U

ujian tegangan 159, 161, 162, 163, 164, 165,
167, 169, 171, 186, 187

unit 2, 3, 5, 43, 48, 49, 61, 62, 73, 80, 81, 99,
107, 112, 113, 120, 121, 127, 128, 130,
138, 139, 158, 174, 175

W

Wohler 160, 174

Y

Young 3, 41, 80, 81, 86, 148, 165, 168, 169,
170, 176, 177, 182, 186