

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Sulendra dan Tatong (2007), telah melakukan penelitian terhadap baja tulangan dengan metode pengujian pemanasan dengan suhu 400°C, 600°C, 800°C, 1000°C dengan waktu tunggu selama 2 jam pada pengujian ini mereka menggunakan metode pengujian kuat tekan *hammer test*, kuat tekan silinder & *core drill*, phenolphthalein test, dan uji tarik baja. Dari pengujian tersebut didapatkan hasil nilai kuat tekan terendah sebesar 1,61 Mpa - 6,09 Mpa, baja tulangan mengalami pertambahan kuat tarik sebesar 0,21% pada suhu 400°C tetapi juga mengalami penurunan tegangan luluh, tegangan patah, dan modulus elastisitas. Dan juga pada suhu 600°C mengalami kenaikan regangan maksimum masing-masing 6,33%, 1,59%, 6,86%, 1,65%, dan 2,65% namun mengalami penurunan tegangan luluh, tegangan patah, dan modulus elastisitas. Dan pada suhu 1000°C juga mengalami kenaikan regangan maksimum masing-masing sebesar 19,42%, 11,85%, 18,30%, 5,99%, dan 31,69% dan mengalami penurunan pada tegangan luluh, tegangan patah, tegangan maksimum, dan modulus elastisitas.

Umiati (2008), telah melakukan penelitian terhadap baja tulangan sebagai bahan konstruksi dengan metode pengujian dengan cara dibakar pada suhu 540°C sampai 750°C dengan metode pengujian komposisi bahan dan didapatkan hasil pada suhu 723°C sifat mekanis baja tulangan menurun drastis.

Budi (2011), telah melakukan penelitian terhadap baja tulangan dengan metode pengujian membengkokkan baja tulangan dengan sudut 45° dan 90°, dan 135° kemudian diluruskan kembali ke 0° dan selanjutnya dilakukan pengujian tarik terhadap baja tulangan dan didapatkan hasil baja tulangan yang telah dibengkokkan mengalami penurunan tegangan leleh dan kekuatan yang lebih rendah dibandingkan dengan baja tulangan baru.

Wior dkk (2015), telah melakukan penelitian terhadap baja tulangan dan beton dengan metode penelitian studi kasus kebakaran yang suhunya diperkirakan

600°C sampai 900°C kemudian dilakukan pengujian dengan metode *schmidt hammer test*, *core drill test*, dan pengujian tarik baja. Dari hasil pengujian *core drill test* didapatkan hasil yaitu kuat tekan beton sebesar 5,99 Mpa dimana mutu tersebut jauh dari standar yaitu 17 Mpa. Selanjutnya hasil dari *schmidt hammer test* didapatkan nilai koefisien variasi kekuatan sisa beton sekitar 16% sampai 52%. Dan yang terakhir hasil uji tarik baja tulangan diameter 10 mm kuat tarik sebesar 579 sampai 676 Mpa, sedangkan diameter 16 mm kuat tarik sebesar 528 sampai 627 Mpa.

Affi Dkk (2015), telah melakukan penelitian terhadap baja tulangan dengan metode pengujian memanaskan baja tulangan dengan suhu 720°C dengan waktu penahanan tunda (*spheroidizing*) selama 1, 10, 30, dan 100 jam. Dan selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan dan pengujian tarik pada setiap tahapannya. Setelah pengujian didapatkan hasil struktur *spherodite* sukses didapatkan setelah waktu penahanan selama 100 jam, elongasi ditingkatkan dari 20% menjadi 31,6% setelah waktu penahanan selama 100 jam, namun didapatkan kekuatannya menurun dari 596 Mpa menjadi 433,5 Mpa.

Ukiman Dkk (2017), telah melakukan penelitian terhadap baja tulangan polos dengan diameter 8, 10, 12 mm dengan dibakar dengan durasi waktu 0, 2, 4, dan 8 jam. Dan pada selanjutnya baja tulangan yang telah diberi perlakuan di uji dengan metode pengujian uji kuat tekan beton dan uji kuat tarik baja tulangan setelah dilakukan pengujian maka didapatkan hasil beton mengalami penurunan kuat mutu setelah terbakar selama 4 jam lebih sebesar 52% dan kehilangan nilai kuat tarik pada baja tulangan sebesar 22%. Pada durasi bakar sampai 8 jam kuat tekan beton kehilangan 67% dan nilai kuat tarik baja tulangan hilang sebesar 24,16%.

2.2 Baja Tulangan

Baja beton merupakan salah satu jenis material baja yang biasanya digunakan dalam sebuah konstruksi bangunan. Biasanya, baja jenis ini digunakan dalam setiap jenis konstruksi, entah itu digunakan untuk membuat penulangan pada konstruksi beton atau untuk kebutuhan lainnya dalam bidang konstruksi (Meti Yana, 2014).

Baja tulangan memiliki gaya tarik yang umumnya tidak dimiliki oleh baja jenis beton. Baja tulangan itulah yang nantinya akan mampu menyediakan ruang bagi sebuah konstruksi untuk menahan gaya tekan. Dengan begitu, campuran kedua material ini memiliki peranan yang krusial atau penting dalam setiap pekerjaan konstruksi yang akan dijalankan (Meti Yana, 2014).

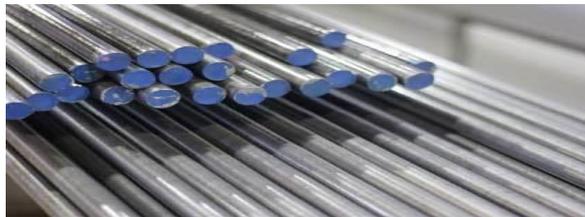
Baja tulangan adalah baja yang berbentuk batang, berpenampang bundar dan digunakan untuk penulangan beton serta diproduksi dari bahan billet dengan cara canai panas (*hot rolling*) (BSN, 2014).

2.3 Jenis-jenis Baja Tulangan

Menurut Badan Standarisasi Nasional dalam buku pedoman SNI-2052:2014 besi tulangan terbagi menjadi 2 jenis yaitu:

1. Baja Tulangan Beton Polos (BjTP)

Baja Tulangan Beton Polos adalah baja tulangan beton berpenampang bundar dengan permukaan rata bersirip, disingkat BjTP.



Gambar 2.1 Baja Tulangan Polos (Dealer, 2017)

2. Baja Tulangan Beton Sirip (BjTS)

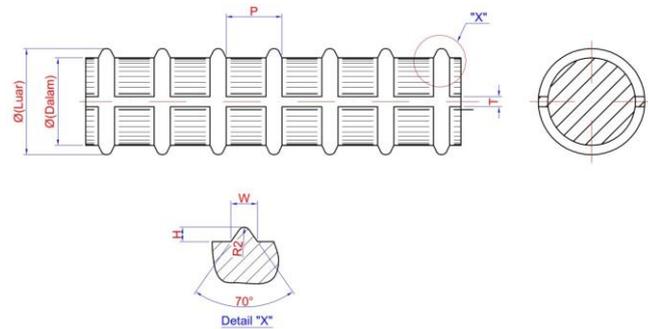
Baja Tulangan Beton Sirip adalah baja tulangan beton dengan bentuk khusus, permukaannya memiliki sirip melintang dan rusuk memanjang dimaksudkan untuk meningkatkan daya lekat dan guna menahan gerakan membujur dari batang secara relatif terhadap beton, disingkat BjTS.



Gambar 2.2 Baja Tulangan Ulir (Civeng, 2015)

Jenis baja tulangan beton sirip:

a. Sirip Bambu

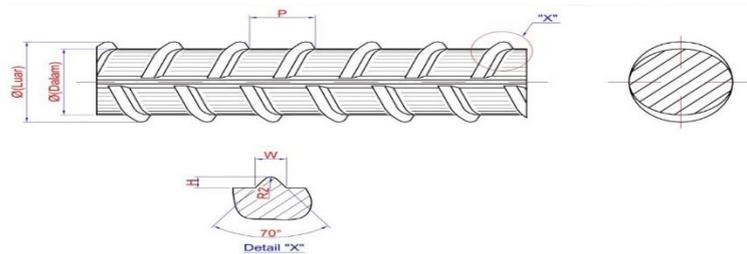


Keterangan gambar:

- H : tinggi sirip/ulir
- P : jarak sirip/ulir melintang
- W : lebar sirip/ulir membujur
- T : Gap/rib

Gambar 2.3 Baja Tulangan Sirip Bambu (BSN, 2014)

b. Sirip Curam

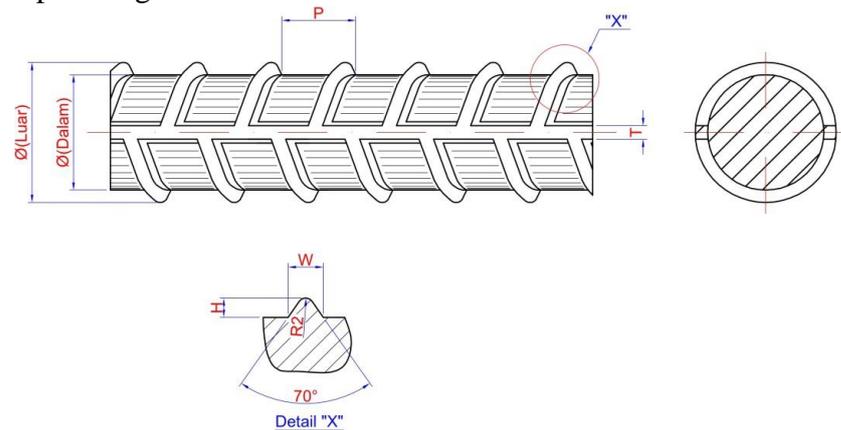


Keterangan gambar:

- H : tinggi sirip/ulir
- P : jarak sirip/ulir melintang
- W : lebar sirip/ulir membujur

Gambar 2.4 Baja Tulangan Sirip Curam (BSN, 2014)

c. Sirip Tulang Ikan



Keterangan gambar:

- H : tinggi sirip/ulir
 P : jarak sirip/ulir melintang W : lebar sirip/ulir membujur
 T : Gap/rib

Gambar 2.5 Baja Tulangan Sirip Tulang Ikan (BSN, 2014)

2.4 Fungsi Baja Tulangan

Beton adalah batu buatan yang kuat sekali menerima tekanan tetapi sangat lemah apabila menerima gaya tarik. Jadi sifat-sifat beton sangat baik apabila hanya menerima gaya tekan, seperti pada kolom. Tetapi setelah beton tersebut menerima lenturan, seperti pada balok atau pelat, akan timbul sifat-sifat lain yang tampak seperti pada karet busa. Satu sisi pada beton lubang-lubang porinya tertekan sedangkan pada sisi yang lain lubang-lubang tersebut tertarik (Yana, 2014).

Karena beton sangat lemah dalam menerima gaya tarik, maka beton tersebut tidak mampu menerima gaya tarik sehingga mengakibatkan terjadinya retak-retak yang lama-lama bisa mengakibatkan elemen beton akan pecah (Yana, 2014).

Untuk menjaga retak lebih lanjut serta pecahnya balok tersebut, diperlukan pemasangan tulangan-tulangan baja pada daerah yang tertarik dan daerah dimana beton akan mengalami retak-retak. Alasan menggunakan tulangan baja ialah karena baja sangat baik dan mampu menerima gaya tarik (Yana, 2014).

Pada beton bertulang, kita memanfaatkan sifat-sifat baik beton dalam menerima tekanan serta memakai tulangan pada daerah-daerah yang menerima gaya tarik (Yana, 2014).

Jadi tulangan pada konstruksi beton sangat diperlukan untuk menahan gaya tarik yang terjadi, maka dari itu diperlukan luasan tulangan minimum pada penampang beton bruto. Dengan mengetahui ϕ tulangan minimum yang harus terpasang, maka konstruksi relatif aman untuk dilaksanakan (Yana, 2014).



Gambar 2.3 Pengerjaan Penulangan (Yana, 2014)

2.5 Kelebihan Baja Tulangan

Sejak tahun 1950 konstruksi konstruksi baja beton mulai digunakan sebagai elemen utama dalam pembangunan gedung tinggi. Karena pengetahuan manusia tentang perilaku beton bertulang yang terbatas, terutama mengenai nonlinearitas material beton itu sendiri, pada awal abad ke-20 kebanyakan gedung tinggi di Amerika menggunakan baja profil sebagai elemen struktur utamanya. Baru pada 1950-an konstruksi beton mulai ikut berperan dalam konstruksi gedung tinggi (Yana, 2014).

Di Indonesia sendiri, baja beton lebih sering digunakan untuk pembangunan gedung, karena bahan ini lebih mudah didapat sehingga dirasakan lebih ekonomis dibanding konstruksi lainnya (Yana, 2014).

Baja beton atau beton bertulang boleh jadi merupakan bahan konstruksi yang paling penting karena digunakan dalam berbagai bentuk untuk hampir semua struktur baik besar maupun kecil seperti bangunan, jembatan, perkerasan hjalan, bendungan, dinding pebahan tanah, terowongan, jembatan yang melintasi lembah (viaduct), drainase, fasilitas irigasi, tangki dan sebagainya (Yana, 2014).

Khusus untuk bangunan gedung bertingkat tinggi, besi beton digunakan untuk struktur kolom, balok, dinding, plat, besi *poer* dan *sloof* (Yana, 2014).

Kelebihan tersebut antara lain :

1. Memiliki kuat tekan yang relatif lebih tinggi dibandingkan kebanyakan bahan lain.
2. Memiliki ketahanan yang tinggi terhadap api dan air, bahkan memiliki struktur terbaik untuk bangunan yang banyak bersentuhan dengan air. Pada peristiwa kebakaran dengan intensitas rata-rata, batang-batang struktur dengan ketebalan penutup beton yang memadai sebagai pelindung tulangan hanya mengalami kerusakan pada permukaannya saja tanpa mengalami keruntuhan.
3. Struktur beton bertulang sangat kokoh.
4. Tidak memerlukan biaya pemeliharaan yang tinggi.
5. Dibandingkan dengan bahan lain, memiliki usia layan yang sangat panjang. Dalam kondisi-kondisi normal, struktur beton bertulang dapat digunakan sampai kapanpun tanpa kehilangan kemampuannya untuk menahan beban. Ini dapat dijelaskan dari kenyataan bahwa kekuatannya tidak berkurang dengan berjalannya waktu bahkan semakin lama semakin bertambah dalam hitungan tahun, karena lamanya proses pepadatan semen.
6. Merupakan satu-satunya bahan yang ekonomis untuk pondasi tapak, dinding basement, tiang tumpuan jembatan, dan bangunan-bangunan semacam itu.
7. Dapat dirakit menjadi bentuk yang sangat beragam mulai dari plat, balok dan kolom yang sederhana sampai menjadi atap kubah dan cangkang besar.

2.6 Ukuran Baja Tulangan

Diameter dan berat per meter baja tulangan beton polos seperti tercantum pada Tabel 2.1. Diameter, ukuran sirip dan berat per meter baja tulangan beton sirip seperti tercantum pada Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Ukuran Baja Tulangan Polos

No	Penamaan	Diameter nominal (d)	Luas penampang nominal (A)	Berat nominal per meter
		Mm	cm ²	kg/m
1	P.6	6	0,2827	0,222
2	P.8	8	0,5027	0,395
3	P.10	10	0,7854	0,617
4	P.12	12	1,131	0,888
5	P.14	14	1,539	1,21
6	P.16	16	2,011	1,58
7	P.19	19	2,835	2,23
8	P.22	22	3,801	2,98
9	P.25	25	4,909	3,85
10	P.28	28	6,158	4,83
11	P.32	32	8,042	6,31
12	P.36	36	10,17	7,99
13	P.40	40	12,56	9,86
14	P.50	50	19,64	15,4

(Sumber: Badan Standarisasi Nasional, 2014)

Tabel 2.2 Ukuran Baja Tulangan Sirip

No	Pena maa n	Dia meter nomi nal (mm)	Luas penam - pang nomin al (cm ²)	Dia- meter dalam mini mal (mm)	Tinggi sirip		Jarak sirip melinta ng (maks) (mm)	Lebar sirip membuj ur (maks) (mm)	Berat nominal per meter (kg/m)
					Min (m m)	Maks (mm)			
1	S.6	6	0,2827	5,5	0,3	0,6	4,2	4,7	0,222
2	S.8	8	0,5027	7,3	0,4	0,8	5,6	6,3	0,395
3	S.10	10	0,7854	8,9	0,5	1,0	7,0	7,9	0,617
4	S.13	13	1,327	12,0	0,7	1,3	9,1	10,2	1,04
5	S.16	16	2,011	15,0	0,8	1,6	11,2	12,6	1,58
6	S.19	19	2,835	17,8	1,0	1,9	13,3	14,9	2,23
7	S.22	22	3,801	20,7	1,1	2,2	15,4	17,3	2,98
8	S.25	25	4,909	23,6	1,3	2,5	17,5	19,7	3,85
9	S.29	29	6,625	27,2	1,5	2,9	20,3	22,8	5,18
10	S.32	32	8,042	30,2	1,6	3,2	22,4	25,1	6,31
11	S.36	36	10,18	34,0	1,8	3,6	25,2	28,3	7,99
12	S.40	40	12,57	38,0	2,0	4,0	28,0	31,4	9,88
13	S.50	50	19,64	48,0	2,5	5,0	35,0	39,3	15,4
14	S.54	54	22,902	50,8	2,7	5,4	37,8	42,3	17,9
15	S.57	57	25,519	53,6	2,9	5,7	39,9	44,6	20,0

(Sumber: Badan Standarisasi Nasional, 2014)

Atur P.N Siregar (2006) menggunakan Baja Tulangan dengan ukuran 6, 8, 10 mm sebagai bahan penelitian. Dan berlanjut pada penelitian Ukiman, Setio Utomo, Hartono, Imam Nurhadi, Pentardi (2017) menggunakan Baja Tulangan dengan ukuran diameter 8, 10, 12 mm.

2.7 Pengertian dan Klasifikasi Kebakaran

2.7.1 Pengertian Kebakaran

Kebakaran rumah dan gedung adalah perubahan langsung atau tidak langsung keadaan fisik rumah dan gedung yang disebabkan oleh penggunaan api, BBM, gas, dan listrik yang tidak aman. Akibat kebakaran, rumah dan gedung menjadi tidak berfungsi dan tidak dapat dipakai lagi untuk kegiatan sehari-hari (Samekto, 2016).

Ada tiga kelompok atau jenis kebakaran berdasarkan bahan yang terbakar (Samekto, 2016), yaitu:

1. Kelompok bahan padat, seperti kayu, kertas, plastic, karet, dan sejenisnya. Cara pemadamannya adalah dengan disiram air, ditimbun pasir, ditutup karung goni basah, disemprot dengan alat pemadam kebakaran portable dan zat kimia berupa racun api kering.
2. Kelompok benda cair yang mudah terbakar seperti BBM yaitu bensin, minyak tanah, solar, alcohol, cat minyak dan sejenisnya. Cara pemadamannya dengan zat kimia berupa racun api kering, pasir, dan alat pemadam kebakaran portable. Tidak dianjurkan memadamkannya dengan air karena berat jenis air lebih tinggi dari bahan-bahan diatas sehingga dikhawatirkan bahan-bahan kimia itu akan terbawa aliran air dan kebakaran merambat ke tempat lain.
3. Listrik di rumah atau gedung dan kendaraan bermotor, kapal, dan sejenisnya. Cara pemadamannya dengan memutuskan aliran listrik dan zat kimia berupa racun api kering.

2.7.2 Klasifikasi Kebakaran

Yang dimaksud dengan klasifikasi kebakaran adalah penggolongan atau pembagian atas kebakaran berdasarkan pada jenis benda / ahan yang terbakar. Dengan adanya klasifikasi kebakaran tersebut diharapkan akan lebih mudah atau lebih cepat dan lebih tepat mengadakan pemilihan media pemadaman yang akan digunakan untuk melaksanakan pemadaman (Perda DKI, 1992).

Menurut Perda DKI (1992) kalsifikasi kebakaran sesuai dengan bahan bakar yang terbakar dan bahan pemadaman untuk masing-masing kelas yaitu :

a. Kelas A

Termasuk dalam kelas ini adalhan kebakaran pada bahan yang mudah terbakar biasa, misalnya : kertas, kayu, maupun plastic. Cara mengatasinya yaitu bisa dengan menggunakan air untuk menurunkan suhunya sampai di bawah titik penyulutan, serbuk kering untuk mematikan proses pembakaran atau menggunakan halogen untuk memutuskan reaksi berantai kebakaran.

b. Kelas B

Kebakaran pada kelas ini adalah yang melibatkan bahan cairan *combustible* dengan cairan *flammable*, seperti bensin, minyak tanah, dan bahan serupa lainnya. Cara mengatasinya dengan bahan *foam*.

c. Kelas C

Kebakaran yang disebabkan oleh listrik yang bertegangan untuk mengatasinya yaitu dengan menggunakan bahan pemadaman kebakaran non konduktif agar terhindar dari sengatan listrik.

d. Kelas D

Kebakaran pada bahan logam yang mudah terbakar seperti titanium, aluminium, magnesium, dan kalium. Cara mengatasinya yaitu powder khusus kelas ini.

2.8 Penyebab Kebakaran

Adapun beberapa penyebab kebakaran antara lain sebagai berikut:

1. Aktivitas manusia yang menggunakan api atau listrik di rumah dan gedung atau sekitarnya sehingga menyebabkan kebakaran.
2. Faktor alam yang dapat memicu terjadinya kebakaran rumah dan gedung seperti sambaran petir.
3. Angin yang cukup besar dapat memicu dan mempercepat menjalarnya api.
4. Keadaan pemukiman penduduk yang rapat dan berhimpitan serta terbuat dari bahan bangunan yang mudah terbakar seperti kayu, dan sebagainya.

2.9 Proses Terjadinya Kebakaran

2.9.1 Proses Penjilatan Api

Adalah dimana api mulai menyala, panas akan meningkat, bila persediaan oksigen, bahan bakar atau bahan yang mudah terbakar senantiasa cukup untuk pembakaran maka api akan berkembang dan menyebar. Pada tahap ini bahan bangunan akan mengalami perubahan sifat fisik dan kimia. Setiap nyala api akan mengalami dulu fase berkembang dan penyebarannya. Bila ini dibiarkan ketika suhu sudah tinggi, dan tidak kehabisan oksigen, maka nyala api akan membesar memasuki tahap nyala awet (Umiati, 2008).

2.9.2 Proses Nyala Awet

Dengan suhu material sudah tinggi jauh diatas titik nyala, dan oksigen cukup untuk proses pembakaran maka proses pembakaran akan masuk pada proses nyala awet. Dalam tahap ini sistem kontruksi akan diuji seberat-beratnya jika kontruksi tidak bisa menahan api maka seluruh bangunan akan runtuh dan habis terbakar (Umiati, 2008).

Oleh sebab itu kita harus berusaha agar fase tahap nyala awet tidak tercapai, sebab bila nyala api sudah dalam tahap ini, api sudah sangat sulit untuk dapidamkan sebelum segala yang bisa dilahap api habis musnah (Umiati, 2008).

Dari kedua tahap diatas penting untuk diperhatikan dalam usaha penanggulangan, saat-saat pertamalah yang paling penting untuk usaha penyelamatan. Setiap menit sangat berharga dan dapat menentukan hidup matinya penghuni dalam gedung. Sebab bila api sudah menyala dalam tahap nyala awet sulit untuk menyelamatkan penghuni (Umiati, 2008).

I Ketut Sulendra dan Burhan Tatong (2007) melakukan pengujian baja tulangan menggunakan proses nyala awet. Dan berlanjut pada penelitian Christian Eko Wior (2015) juga melakukan pengujian baja tulangan menggunakan proses nyala awet.

2.10 Pengelompokan Material Terhadap Sifat Terbakarnya

Ketahanan struktur dan konstruksi dikelompokkan dalam tingkat kemudahan material tersebut terbakar (combustibility) seperti tabel 2.3.

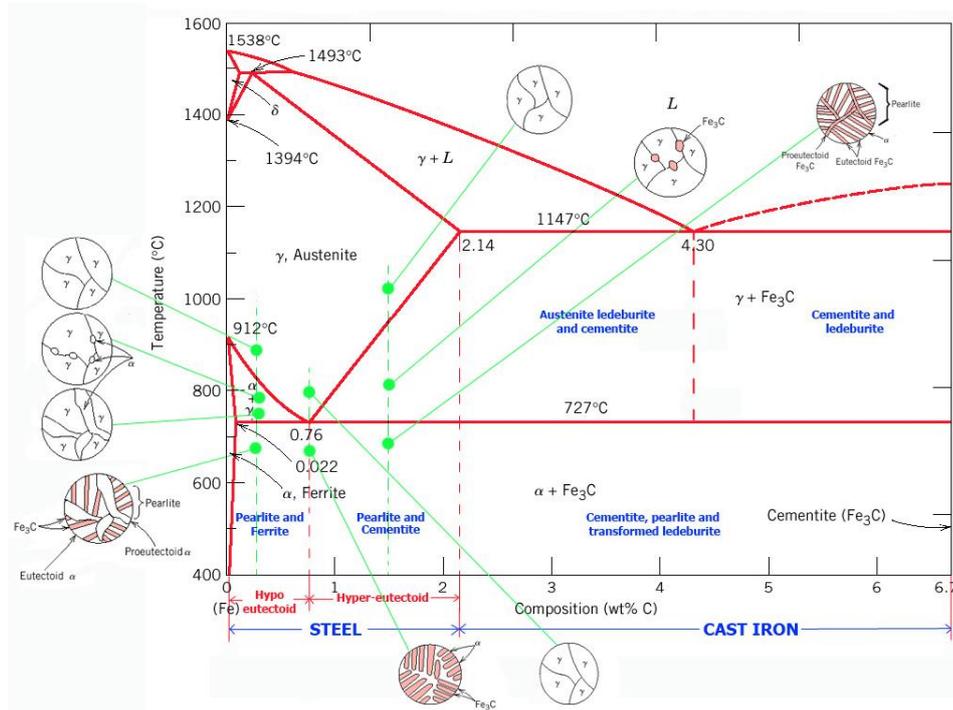
Tabel 2.3 Pengelompokan Material Terhadap Sifat Terbakarnya

No	Tingkat Kemudahan Terbakar	Sifat Material
1	Non Combustible	Tidak mudah menyala, berpijar, atau hangus karena api
2	Low Combustible	Mudah menyala atau berpijar segera setelah api atau temperatur tinggi beraksi tetapi tidak terjadi lagi menyala atau berpijar setelah sumber api atau panas dimatikan
3	Combustible	Cepat menyala dan terbakar setelah bersinggungan dengan api atau temperatur tinggi dan tidak mudah dipadamkan

(Sumber: Sri Umiati, 2008)

2.11 Tinjauan Sifat Baja Sebagai Struktur Bangunan

Baja adalah besi yang mengandung karbon 0,02-2,11 %C yang dikelompokkan menjadi 3, yaitu baja karbon rendah (<0,2 %C), baja karbon sedang (0,2-0,5%C), baja karbon tinggi (0,5-2,11%C). Baja karbon rendah dan sedang banyak digunakan untuk struktur dan konstruksi bangunan adalah baja konstruksi. Sifat mekaniknya baik. Kekuatan tariknya sekitar 500 N/mm², Tegangan leleh sekitar 250 N/mm². Baja konstruksi ini adalah campuran dari besi dan karbon dengan kadar yang rendah yaitu kurang dari 0,3%C. Baja dikategorikan sebagai bahan yang *non combustible* yaitu tidak mudah menyala atau terbakar bila bersentuhan dengan api. Tetapi termasuk bahan penghantar panas yang baik sehingga waktu terjadi kebakaran cepat menyebarkan panas. Suhu kritis baja tanpa dibebani sekitar 1333°F atau 732°C yaitu temperatur awal terjadi perubahan dari bentuk padat ke larutan padat (Umiati, 2008). (lihat diagram fasa baja karbon dibawah).



Gambar 2.4 Diagram Fasa Baja Karbida (Hamdy, 2015)

Pada Suhu 723°C (1333°F) merupakan temperatur terendah baja untuk mengalami perubahan fasa dari γ ke $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ atau disebut juga garis temperatur eutektoid. Pada temperatur ini juga disebut garis temperatur konstan yakni terjadinya perubahan fasa $\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$ ke $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$. Oleh karena itu temperatur 723°C dinyatakan temperatur kritis baja. Jika baja dipanaskan mencapai temperatur 723°C atau lebih terjadi perubahan fasa dari $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ yang bersifat padat (solid) ke γ atau $\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$ yang labil atau larutan padat (solid solution) (Umiati, 2008).

Perubahan *Sifat Mekanik* (*kekuatan, kekerasan*) turun drastis, panas yang mendekati temperatur 723°C (temperatur kritis) akan menurunkan sifat mekaniknya yang signifikan (Umiati, 2008).

2.12 Fungsi Diagram Fasa

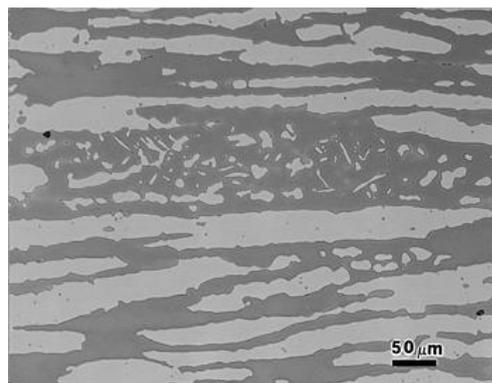
Fungsi diagram fasa adalah memudahkan memilih temperature pemanasan yang sesuai untuk setiap proses perlakuan panas baik proses anil, *normalizing* maupun proses pengerasan. Baja adalah paduan besi dengan karbon maksimal sampai sekitar 1,7%. Paduan besi diatas 1,7% disebut *cast iron*. Perlakuan panas bertujuan untuk memperoleh struktur mikro dan sifat yang diinginkan. Struktur mikro dan sifat yang diinginkan dapat diperoleh melalui proses pemanasan dan proses pendinginan pada temperatur tertentu (Alfarisi, 2015).

2.13 Macam-macam Struktur Mikro Yang Ada Pada Baja

Adapun beberapa macam struktur mikro yang ada pada baja antara lain sebagai berikut (Rahman, 2014):

1. Ferrite (α)

Ferrite (α) merupakan fasa yang terbentuk pada temperatur sekitar 300-723 derajat celcius. Pada daerah ini, kelarutan karbon maksimalnya adalah 0,025% pada temperatur 725 derajat celcius, dan turun drastis menjadi 0% pada 0 derajat celcius. Fasa ini biasa terjadi bersamaan dengan *cementite*, membentuk *pearlite* pada pendinginan lambat. Fasa ini lunak, dan memberikan kemampuan bentuk pada logam. Gambar ini menunjukkan struktur fasa ferrite yang berwarna hitam, dan austenite yang berwarna putih. Hal ini menunjukkan bahwa, selain lunak, ferrite sendiri cenderung lebih mudah berkarat dibandingkan austenite.

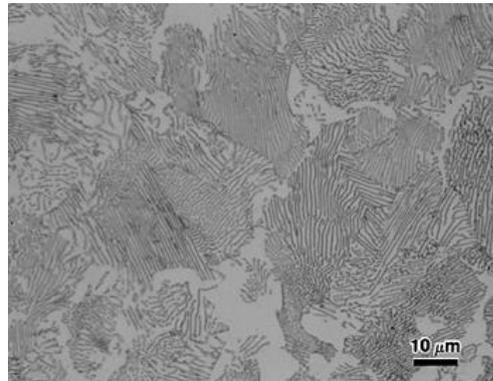


Gambar 2.5 Struktur Ferrite (Rahman, 2014)

2. Pearlite ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$)

Pearlite ialah campuran Eutectoid antara Ferrite dengan Cementid yang dibentuk pada temperature 723 Derajat Celcius dengan kandungan Carbon 0,83% C. Pearlite dianggap sebagai satu fasa sendiri, karena memberikan kontribusi sifat yang seragam. Seperti dijelaskan di atas, di dalam satu fasa, biasa terbentuk dalam satu butir. Namun, untuk Pearlite berbeda, karena ada dua fasa dalam satu butir. Karena butir berukuran lebih besar dari ukuran fasa Ferrite dan Cementite itu sendiri (ukuran terkecil yang bisa dikarakterisasi sebesar ukuran indentasi dari uji keras mikro vickers, sekitar 50 mikron), maka Pearlite, atas kesepakatan bersama para ahli material, digolongkan sebagai satu fasa dalam satu butir. Pearlite memiliki

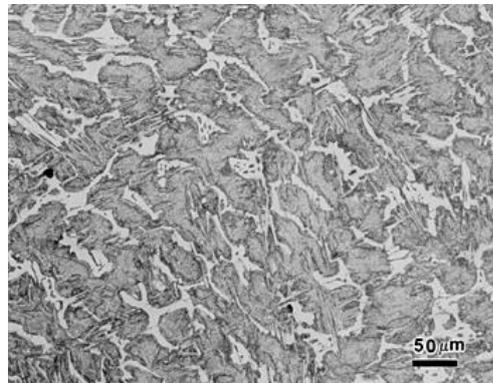
morfologi mirip seperti lapisan (lamellae) antara Ferrite (hitam) dan Cementite (putih). Pada ini, bisa dilihat struktur mikro dari pearlite tersebut.



Gambar 2.6 Struktur Pearlite (Rahman, 2014)

3. Cementite (Fe_3C)

Cementite merupakan fasa intermetalik yang terbentuk pada logam dengan kelarutan karbon maksimal 6,67 %. Kelarutan karbon yang tinggi memberikan sifat keras pada fasa ini, dan berkontribusi bersama dengan ferrite untuk menentukan kekuatan dari suatu logam. Gambar ini menunjukkan fasa cementite yang didapatkan dari proses pendinginan lambat baja cor putih.



Gambar 2.7 Struktur Cementite (Rahman, 2014)

4. Austenite (γ)

Gamma Iron merupakan fasa yang terbentuk pada terbentuk pada temperatur 1140 derajat celcius, dengan kelarutan karbon 2,08%. Kelarutan karbon akan turun menjadi 0,08% pada 723 derajat celcius. Fasa austenite terlihat jelas pada gambar di bagian Ferrite di atas, berwarna putih. Hal ini menunjukkan bahwa fasa ini memiliki ketahanan karat yang lebih baik daripada fasa yang lain. Austenite merupakan fasa yang tidak stabil di temperatur kamar, sehingga dibutuhkan

komposisi paduan lain yang akan berfungsi sebagai penstabil fasa austenite pada temperatur kamar, contohnya adalah mangan (Mn).

2.14 Struktur Besi Murni

Struktur logam terdiri atas butir kristal yang saling mengikat kuat satu sama lain dalam bentuk dan ukuran yang berlainan. Kristal-kristal tersebut terdiri dari bagian-bagian terkecil suatu unsur atom. Atom besi tersusun di dalam sebuah “kisi ruang”, dimana terdiri atas jaringan berbentuk kubus. Peletakan atom dalam kubus dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis yaitu (Alois Schonmetz dkk, 1985):

1. Besi alfa (besi α)

Delapan atom berada pada pojok kubus dan sebuah atom ke sembilan ditengahnya (di pusat ruang). Susunan atom ini disebut juga kubik pemusatan ruang (*body centered cubic*). Sampai temperatur ruangan 708°C , besi α bersifat magnetis. Mulai 768°C sampai 911°C , *body centered cubic (bcc)* menjadi tidak magnetis lagi.

2. Besi gamma (besi γ)

Pada temperatur 911°C ikatan kubik pemusatan ruang berubah menjadi besi γ kubik pemusatan sisi (*face centered cubic*). Pada setiap sudut kubus terdapat satu atom dan enam atom lainnya berada di tengah ke enam bidang sisi kubus. Jadi sebuah kubus γ terdapat empat belas atom.

3. Besi delta (besi δ)

Temperatur 1392°C besi γ yang berpusat sisi (*fcc*) berubah kembali menjadi kubik pemusatan ruang (*bcc*) yang disebut besi δ . Namun besi δ terakhir ini mempunyai jarak atom yang lebih besar.

2.15 Perlakuan Panas

Proses perlakuan panas pada umumnya untuk memodifikasi struktur mikro baja sehingga meningkatkan sifat mekanik, salah satunya yaitu kekerasan (Smallman dan Bishop, 1999).

Perlakuan panas (heat treatment) adalah suatu proses mengubah sifat mekanis logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan dengan atau tanpa mengubah komposisi kimia.

Ada berbagai perlakuan panas yang biasa digunakan pada proses pengolahan baja. Perlakuan panas yang paling sering digunakan adalah *annealing*, *quenching*, dan *tempering*. *Annealing* adalah perlakuan panas terhadap baja yang dilakukan dengan memanaskan baja hingga temperatur cukup tinggi untuk membuat baja lunak. Proses ini terjadi dalam tiga tahapan, pemulihan, rekristalisasi, dan penumbuhan butir. Temperatur yang dibutuhkan untuk *annealing* bergantung pada jenis *annealing* dan kandungan elemen campuran dalam baja.

Quenching dan *tempering* awalnya melibatkan pemanasan baja hingga fasanya berubah menjadi austenit lalu dilakukan pendinginan menggunakan media pendingin oli atau air. Penurunan temperatur yang tiba-tiba menghasilkan struktur martensit yang keras dan getas. Baja lalu diproses melalui proses *tempering* yang merupakan salah satu jenis dari *annealing*. Pada proses ini sebagian dari struktur martensit akan berubah menjadi sementit, atau spheroidite untuk mengurangi tegangan internal dan cacat dalam baja, sehingga baja lebih ulet dan lebih tahan terhadap keretakan.

2.16 Quenching

Quenching adalah proses perlakuan panas dimana prosesnya dilakukan dengan pendinginan yang relatif cepat dari temperatur austenisasi (umumnya pada jarak temperatur 815°C – 870°C) pada baja. Keberhasilan proses *quenching* ditentukan oleh media *quenching* (*quenchant medium*) yang digunakan. Untuk menentukan media *quenching*, sangat bergantung pada mampu keras (*hardenability*) dari logam, ketebalan dan bentuk dari benda uji yang akan *quenching*. Serta struktur mikro yang diinginkan dari hasil proses *quenching*. Adapun media *quenching* yang sering

digunakan adalah media cair (*liquid*) dan gas. Media *quenching* cair adalah oli, air, larutan polimer (*aquos polymer solution*), Larutan garam. Sedangkan media *quenching* gas adalah helium, argon, dan nitrogen (ASM International, 2005).

Tujuan dari proses *quenching* secara umum pada baja (baja carbon, low alloy steel, dan tool steel) adalah untuk proses *hardening*, yaitu menghasilkan struktur mikro martensit pada baja tersebut. Proses *hardening* yang baik adalah bila mendapatkan harga kekerasan, kekuatan, dan *toughness* yang besar tetapi dengan *residual stress*, distorsi, dan *cracking* yang minimal. Pada stainless steel dan high alloy steels tujuan proses *quenching* adalah untuk meminimalisasi keberadaan batas butir karbida atau untuk meningkatkan distribusi ferit (ASM International, 2005).

Menurut Aksten (1990) media pendinginan cair atau sering disebut *quenchant*s yang paling umum digunakan adalah air dan solusinya (air garam dan solusi kaustik), minyak, dan solusi polimer.

a. Air

Air adalah media pendinginan yang paling umum digunakan. Air menghasilkan tingkat pendinginan mendekati tingkat maksimum. Keunggulan air sebagai media pendingin adalah murah, mudah tersedia, mudah dibuang dengan minimal polusi atau bahaya kesehatan. Air juga efektif dalam menghilangkan *scaling* dari permukaan bagian baja yang di-*quenching*. Oleh karena itu air sering digunakan sebagai media *quenching* karena tidak mengakibatkan distorsi berlebihan atau retak. Air banyak digunakan untuk pendinginan logam nonferrous, baja tahan karat austenitic, dan logam lainnya yang telah diperlakukan panas.

Air sebagai media pendingin memiliki dua kelemahan. Kelemahan pertama yaitu tingkat pendinginan yang cepat pada suhu yang lebih rendah dimana distorsi dan retak lebih mungkin terjadi sehingga pendinginan air biasanya terbatas pada pendinginan sederhana. Kelemahan kedua menggunakan air biasa adalah menimbulkan lapisan/selimut uap sehingga dapat menyebabkan jebakan uap yang dapat menghasilkan kekerasan yang tidak rata dan distribusi tegangan yang tidak menguntungkan, menyebabkan distorsi atau bintik lembut. Pendinginan dengan air pada produk baja juga dapat menyebabkan karat sehingga penanganan harus cepat.

Umumnya, air akan memberikan kecepatan pendinginan seragam jika dipertahankan pada suhu 15 sampai 25°C (55-75°F) dan menghasilkan kecepatan lebih besar dari 0,25 m/s (50ft/min).

b. Larutan soda kaustik

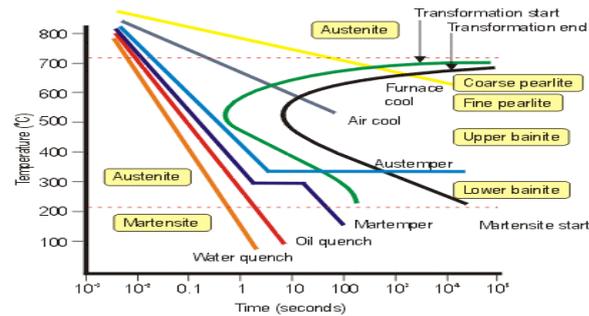
Larutan soda kaustik (5-10% NaOH) digunakan dalam banyak hal dengan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan air. Larutan soda kaustik mendinginkan lebih cepat dan lebih menyeluruh atau seragam, menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik di semua bagian benda. Jika larutan soda kaustik dipanaskan dahulu sampai pada temperatur 55-70°C (130-160°F) dapat menghasilkan pendinginan drastis tanpa menimbulkan keretakan pada benda. Soda kaustik hanya dapat digunakan dalam sistem tertutup dengan ketentuan yang dibuat untuk pendinginan, operator harus dilindungi terhadap kontak langsung dengan larutan soda kaustik tersebut. Larutan soda kaustik harus sering diperiksa dan konsentrasi yang tepat harus dipertahankan.

c. Larutan garam (brine)

Larutan garam (brine) sering berhasil digunakan. Jika larutan garam dipanaskan dahulu sebelum digunakan sampai sekitar 40°C (100°F) dapat menghasilkan hasil yang hampir sama baiknya dengan pendinginan solusi kaustik (soda kaustik), tetapi jauh lebih efektif bila panas. Seperti solusi kaustik, larutan garam memerlukan sistem tertutup. Larutan garam tidak berbahaya untuk operator seperti yang soda kaustik panas, tetapi korosif pada peralatan besi dan baja.

d. Minyak

Pendinginan minyak sering digunakan ketika bagian tipis benda atau sifat yang diperlukan setelah perlakuan panas tidak tinggi. Minyak dapat meminimalisir retak dan sangat efektif dalam mengurangi distorsi. Dari empat media yang pendinginan, minyak cenderung untuk memberikan pendinginan lambat dari benda dan air garam yang paling cepat. Kadang-kadang memerlukan media pendingin yang memiliki kemampuan mendinginkan antara minyak dan air. Untuk itu dapat menggunakan polimer. Polimer ini termasuk alkohol polivinil (PVA) yang paling umum, eter polialkilen glikol (pags), polivinilpirolidon (PVP), dan poliakrilat.



Gambar 2.8 Diagram *quenching*

(Sumber : Hendro, 2011)

2.17 Pengaruh Panas Pada Beton Bertulang

Material beton merupakan material yang tahan panas dibandingkan dengan bahan seperti kayu. Maka beton dapat dikatakan isolator/pelindung terhadap besi tulangan. Selain pelindung panas juga sebagai pelindung terhadap air sehingga besi tulangan tidak mudah korosi. Pada material yang terbakar rambatan panas yang terjadi cukup lemah sehingga tidak menyebabkan perubahan yang mendadak pada komponen struktur beton bertulang (Ukiman, 2017).

Sehingga dibutuhkan kajian yang spesifik untuk mengevaluasi tingkat kerusakan pada beton maupun besi tulangan akibat kebakaran dengan durasi yang lama. Mungkin beton yang terbakar dapat dijadikan pengalaman untuk diambil manfaat sebagai informasi berharga untuk pengambilan keputusan dimasa mendatang (Trisni, 2006).

Kerusakan beton dapat terjadi akibat perbedaan angka muai antara agregat dan pasta semen yang mengakibatkan lekatan pada batuan menjadi berkurang. Pada material pasta semen akan menyusut (mengering) dan agregat akan memuai menimbulkan kualitas beton menurun (Hartono, 2009).

Beton pada suhu 100°C, air kapiler akan menguap dan pada suhu 200°C, air akan terserap dalam agregat mulai menguap, penguapan air mengakibatkan penyusutan pada pasta semen dan pada beton pada suhu 400°C pasta yang sudah terdurasi akan terurai kembali sehingga kekuatan beton mulai terganggu (Paul N dan Antoni, 2007).

I Ketut Sulendra dan Burhan Tatong (2007) melakukan pengujian baja tulangan dengan membakar baja tulangan pada suhu 400°C, 600°C, 800°C, 1000°C. Dan berlanjut pada penelitian Christian Eko Wior (2015) yang melakukan

pengujian baja tulangan di suhu 300°C, 600°C, 900°C. Dan selanjutnya penelitian oleh Ukiman, Setio Utomo, Hartono, Imam Nurhadi, Pentardi (2017) melakukan pengujian di suhu 250°C.

2.18 Sifat Mekanis

Sifat mekanis didefinisikan sebagai ukuran kemampuan bahan untuk membawa atau menahan gaya atau tegangan. Pada saat menahan beban, atom-atom atau struktur molekul berada dalam kesetimbangan. Gaya ikatan pada struktur menahan setiap usaha untuk mengganggu kesetimbangan ini, misalnya gaya luar atau beban (Hosoka, 2017). Beberapa sifat mekanis antara lain:

1. Kekuatan (*strenght*)

Menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan tersebut menjadi patah.

2. Kekerasan (*hardness*)

Dapat didefinisikan sebagai kemampuan bahan untuk tahan terhadap goresan, pengikisan (abrasi), penetrasi. Sifat ini berkaitan erat dengan sifat keausan (*wear resistance*).

3. Kekenyalan (*elasticity*)

Menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan.

4. Kekakuan (*stiffness*)

Menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan / beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi) atau defleksi.

5. Plastisitas (*plasticity*)

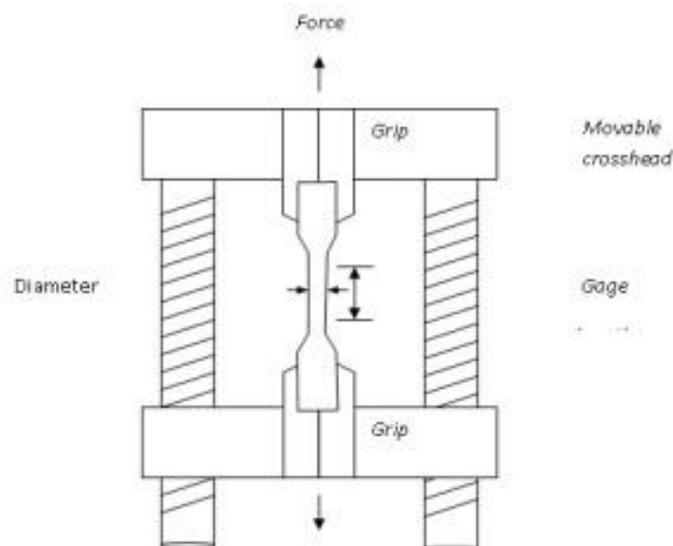
Menyatakan kemampuan bahan untuk mengalami sejumlah deformasi plastis (yang permanen) tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Sifat ini sangat diperlukan bagi bahan yang akan diproses dengan berbagai proses pembentukan seperti, *forging*, *rolling*, *extruding* dan sebagainya. Sifat ini sering juga disebut sebagai keuletan atau kekenyalan (*ductility*).

2.19 Jenis-jenis Pengujian Sifat Mekanis Bahan

Berikut adalah beberapa jenis-jenis pengujian sifat mekanis khususnya yang dilakukan pada pengujian kali ini:

2.19.1 Uji Tarik

Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu [Askeland, 1985]. Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik sangat penting untuk rekayasa teknik dan desain produk karena menghasilkan data kekuatan material. Pengujian uji tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat.



Gambar 2.9 Mesin Uji Tarik (Rafe'i, 2011)

Seperti pada gambar 2.9 benda yang di uji tarik diberi pembebanan pada kedua arah sumbunya. Pemberian beban pada kedua arah sumbunya diberi beban yang sama besarnya.

Pengujian tarik adalah dasar dari pengujian mekanik yang dipergunakan pada material. Dimana spesimen uji yang telah distandarisasi, dilakukan pembebanan *uniaxial* sehingga spesimen uji mengalami peregangan dan bertambah panjang hingga akhirnya patah. Pengujian tarik relatif sederhana, murah dan sangat

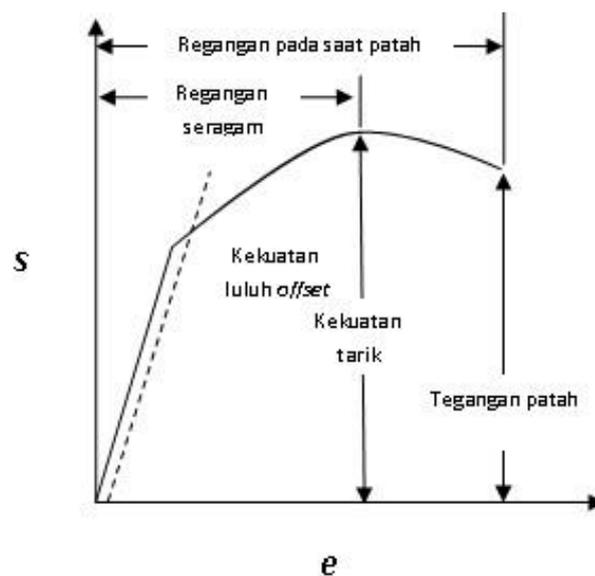
terstandarisasi dibanding pengujian lain. Hal-hal yang perlu diperhatikan agar pengujian menghasilkan nilai yang valid adalah; bentuk dan dimensi spesimen uji, pemilihan grips dan lain-lain.

1. Bentuk dan Dimensi Spesimen uji

Spesimen uji harus memenuhi standar dan spesifikasi dari ASTM E8 atau D638. Bentuk dari spesimen penting karena kita harus menghindari terjadinya patah atau retak pada daerah grip atau yang lainnya. Jadi standarisasi dari bentuk spesimen uji dimaksudkan agar retak dan patahan terjadi di daerah gage length.

2. Grip and Face Selection

Face dan *grip* adalah faktor penting. Dengan pemilihan *setting* yang tidak tepat, spesimen uji akan terjadi slip atau bahkan pecah dalam daerah *grip* (*jaw break*). Ini akan menghasilkan hasil yang tidak valid. *Face* harus selalu tertutupi di seluruh permukaan yang kontak dengan *grip*. Agar spesimen uji tidak bergesekan langsung dengan *face*.



Gambar 2.10 Contoh Kurva atau Grafik Tegangan Tarik (Rafe'i, 2011)

Tegangan yang digunakan pada kurva adalah tegangan membujur rata-rata dari pengujian tarik. Tegangan teknik tersebut diperoleh dengan cara membagi beban yang diberikan dibagi dengan luas awal penampang benda uji. Dituliskan seperti dalam persamaan berikut:

$$S = P/A_0$$

Keterangan : S = Besarnya Tegangan (kg/mm²)

P = Beban yang diberikan (kg)

A₀ = Luas Penampang Awal (mm²)

Regangan yang digunakan untuk kurva tegangan-regangan teknik adalah regangan linier rata-rata, yang diperoleh dengan cara membagi perpanjangan yang dihasilkan setelah pengujian dilakukan dengan panjang awal. Dituliskan seperti dalam persamaan berikut:

$$e = \frac{L - L_0}{L_0}$$

Keterangan: e : Besar regangan (%)

L : Panjang benda uji setelah pengujian (mm)

L₀ : Panjang awal benda uji (mm)

Bentuk dan besaran pada kurva tegangan-regangan suatu logam tergantung pada komposisi, perlakuan panas, deformasi plastik, laju regangan, temperatur dan keadaan tegangan yang menentukan selama pengujian. Parameter-parameter yang digunakan untuk menggambarkan kurva tegangan-regangan logam adalah kekuatan tarik, kekuatan luluh atau titik luluh, persen perpanjangan dan pengurangan luas. Dan parameter pertama adalah parameter kekuatan, sedangkan dua yang terakhir menyatakan keuletan bahan.

Bentuk kurva tegangan-regangan pada daerah elastis tegangan berbanding lurus terhadap regangan. Deformasi tidak berubah pada pembebanan, daerah regangan yang tidak menimbulkan deformasi apabila beban dihilangkan disebut daerah elastis. Apabila beban melampaui nilai yang berkaitan dengan kekuatan luluh, benda mengalami deformasi plastis bruto. Deformasi pada daerah ini bersifat permanen, meskipun bebannya dihilangkan. Tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan deformasi plastis akan bertambah besar dengan bertambahnya regangan plastik. Pada tegangan dan regangan yang dihasilkan, dapat diketahui nilai modulus elastisitas. Persamaannya dituliskan dalam persamaan:

$$E = \frac{\sigma}{e}$$

Keterangan: E : Besar modulus elastisitas (kg/mm²),

e : regangan (%)

σ : Tegangan (kg/mm²)

Pada mulanya pengerasan regang lebih besar dari yang dibutuhkan untuk mengimbangi penurunan luas penampang lintang benda uji dan tegangan teknik (sebanding dengan beban F) yang bertambah terus, dengan bertambahnya regangan. Akhirnya dicapai suatu titik di mana pengurangan luas penampang lintang lebih besar dibandingkan pertambahan deformasi beban yang diakibatkan oleh pengerasan regang. Keadaan ini untuk pertama kalinya dicapai pada suatu titik dalam benda uji yang sedikit lebih lemah dibandingkan dengan keadaan tanpa beban. Seluruh deformasi plastis berikutnya terpusat pada daerah tersebut dan benda uji mulai mengalami penyempitan secara lokal. Karena penurunan luas penampang lintang lebih cepat daripada pertambahan deformasi akibat pengerasan regang, beban sebenarnya yang diperlukan untuk mengubah bentuk benda uji akan berkurang dan demikian juga tegangan teknik pada persamaan (1) akan berkurang hingga terjadi patah.

Dari kurva uji tarik yang diperoleh dari hasil pengujian akan didapatkan beberapa sifat mekanik yang dimiliki oleh benda uji, sifat-sifat tersebut antara lain [Dieter, 1993]:

1. Kekuatan tarik
2. Kuat luluh dari material
3. Keuletan dari material
4. *Modulus elastic* dari material
5. Kelentingan dari suatu material
6. Ketangguhan.

2.19.2 Kekuatan Tarik

Kekuatan yang biasanya ditentukan dari suatu hasil pengujian tarik adalah kuat luluh (*Yield Strength*) dan kuat tarik (*Ultimate Tensile Strength*). Kekuatan tarik atau kekuatan tarik maksimum (*Ultimate Tensile Strength / UTS*), adalah beban maksimum dibagi luas penampang lintang awal benda uji.

$$S_u = \frac{P_{maks}}{A_0}$$

Keterangan: S_u = Kuat tarik

P_{maks} = Beban maksimum

A_0 = Luas penampang awal

Untuk logam-logam yang liat kekuatan tariknya harus dikaitkan dengan beban maksimum dimana logam dapat menahan sesumbu untuk keadaan yang sangat terbatas.

Tegangan tarik adalah nilai yang paling sering dituliskan sebagai hasil suatu uji tarik, tetapi pada kenyataannya nilai tersebut kurang bersifat mendasar dalam kaitannya dengan kekuatan bahan. Untuk logam-logam yang liat kekuatan tariknya harus dikaitkan dengan beban maksimum, di mana logam dapat menahan beban sesumbu untuk keadaan yang sangat terbatas. Akan ditunjukkan bahwa nilai tersebut kaitannya dengan kekuatan logam kecil sekali kegunaannya untuk tegangan yang lebih kompleks, yakni yang biasanya ditemui. Untuk berapa lama, telah menjadi kebiasaan mendasarkan kekuatan struktur pada kekuatan tarik, dikurangi dengan faktor keamanan yang sesuai.

Kecenderungan yang banyak ditemui adalah menggunakan pendekatan yang lebih rasional yakni mendasarkan rancangan statis logam yang liat pada kekuatan luluhnya. Akan tetapi, karena jauh lebih praktis menggunakan kekuatan tarik untuk menentukan kekuatan bahan, maka metode ini lebih banyak dikenal, dan merupakan metode identifikasi bahan yang sangat berguna, mirip dengan kegunaan komposisi kimia untuk mengenali logam atau bahan. Selanjutnya, karena kekuatan tarik mudah ditentukan dan merupakan sifat yang mudah dihasilkan kembali (*reproducible*). Kekuatan tersebut berguna untuk keperluan spesifikasi dan kontrol kualitas bahan. Korelasi empiris yang diperluas antara kekuatan tarik dan

sifat-sifat bahan misalnya kekerasan dan kekuatan lelah, sering dipergunakan. Untuk bahan-bahan yang getas, kekuatan tarik merupakan kriteria yang tepat untuk keperluan perancangan.

Tegangan di mana deformasi plastik atau batas luluh mulai teramati tergantung pada kepekaan pengukuran regangan. Sebagian besar bahan mengalami perubahan sifat dari elastik menjadi plastik yang berlangsung sedikit demi sedikit, dan titik di mana deformasi plastik mulai terjadi dan sukar ditentukan secara teliti. Telah digunakan berbagai kriteria permulaan batas luluh yang tergantung pada ketelitian pengukuran regangan dan data-data yang akan digunakan.

2.19.3 Kekuatan Luluh (*Yield Strength*)

Salah satu kekuatan yang biasanya diketahui dari suatu hasil pengujian tarik adalah kuat luluh (*Yield Strength*). Kekuatan luluh (*yield strength*) merupakan titik yang menunjukkan perubahan dari deformasi elastis ke deformasi plastis [Dieter, 1993]. Besar tegangan luluh dituliskan seperti pada persamaan 2.4, sebagai berikut.

$$Y_s = \frac{P_f}{A_0}$$

Keterangan : Y_s : Besarnya tegangan luluh (kg/mm^2)

P_f : Besarnya beban di titik *yield* (kg)

A_0 : Luas penampang awal benda uji (mm^2)

Tegangan di mana deformasi plastis atau batas luluh mulai teramati tergantung pada kepekaan pengukuran regangan. Sebagian besar bahan mengalami perubahan sifat dari elastik menjadi plastis yang berlangsung sedikit demi sedikit, dan titik di mana deformasi plastis mulai terjadi dan sukar ditentukan secara teliti.

Kekuatan luluh adalah tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah kecil deformasi plastis yang ditetapkan. Definisi yang sering digunakan untuk sifat ini adalah kekuatan luluh ditentukan oleh tegangan yang berkaitan dengan perpotongan antara kurva tegangan-regangan dengan garis yang sejajar dengan elastis offset kurva oleh regangan tertentu. Di Amerika Serikat *offset* biasanya ditentukan sebagai regangan 0,2 atau 0,1 persen ($e = 0,002$ atau 0,001)

Cara yang baik untuk mengamati kekuatan luluh *offset* adalah setelah benda uji diberi pembebanan hingga 0,2% kekuatan luluh *offset* dan kemudian pada saat beban ditiadakan maka benda ujinya akan bertambah panjang 0,1 sampai dengan 0,2%, lebih panjang daripada saat dalam keadaan diam. Tegangan *offset* di Britania Raya sering dinyatakan sebagai tegangan uji (*proff stress*), di mana harga ofsetnya 0,1% atau 0,5%. Kekuatan luluh yang diperoleh dengan metode *ofset* biasanya dipergunakan untuk perancangan dan keperluan spesifikasi, karena metode tersebut terhindar dari kesukaran dalam pengukuran batas elastik atau batas proporsional.

2.19.4 Pengukuran Keliatan (Keuletan)

Keuletan adalah kemampuan suatu bahan sewaktu menahan beban pada saat diberikan penetrasi dan akan kembali ke bentuk semula. Secara umum pengukuran keuletan dilakukan untuk memenuhi kepentingan tiga buah hal [Dieter, 1993]:

1. Untuk menunjukkan elongasi di mana suatu logam dapat berdeformasi tanpa terjadi patah dalam suatu proses suatu pembentukan logam, misalnya pengerolan dan ekstrusi.
2. Untuk memberi petunjuk secara umum kepada perancang mengenai kemampuan logam untuk mengalir secara elastis sebelum patah.
3. Sebagai petunjuk adanya perubahan permukaan kemurnian atau kondisi pengolahan.

Christian Eko Wior (2015) melakukan uji tarik untuk melakukan pengujian terhadap baja tulangan. Dan berlanjut pada penelitian Ukiman (2017) melakukan uji tarik untuk melakukan pengujian terhadap baja tulangan.

2.19.5. Metalografi

Metalografi merupakan suatu disiplin ilmu yang mempelajari metode observasi atau pemeriksaan dengan tujuan untuk menentukan atau mempelajari hubungan antara struktur dengan sifat atau karakter dan perlakuan yang pernah dialami oleh logam, paduan dan bahan-bahan lainnya (Ardra, 2017).



Gambar 2.11 Contoh Hasil Proses Metalografi (Ardra, 2017)

Christian Eko Wior (2015) melakukan pengujian metalografi untuk mengetahui sifat dari baja tulangan.

2.19.6 Uji Komposisi Bahan

Uji Komposisi bahan adalah suatu pengujian yang dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kandungan bahan kimia yang terdapat pada suatu benda yang dapat dilakukan dengan alat spektrometer atau yang lainnya.



Gambar 2.12 Alat Uji Komposisi (Dokumentasi, 2018)