

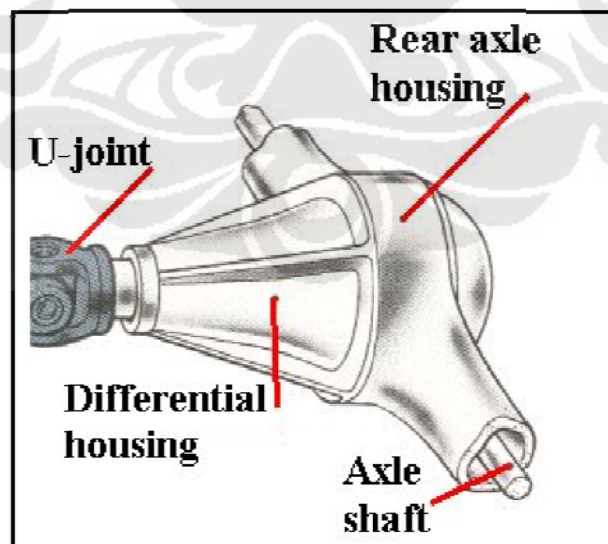
BAB II

DASAR TEORI

II.1 GARDAN MOBIL

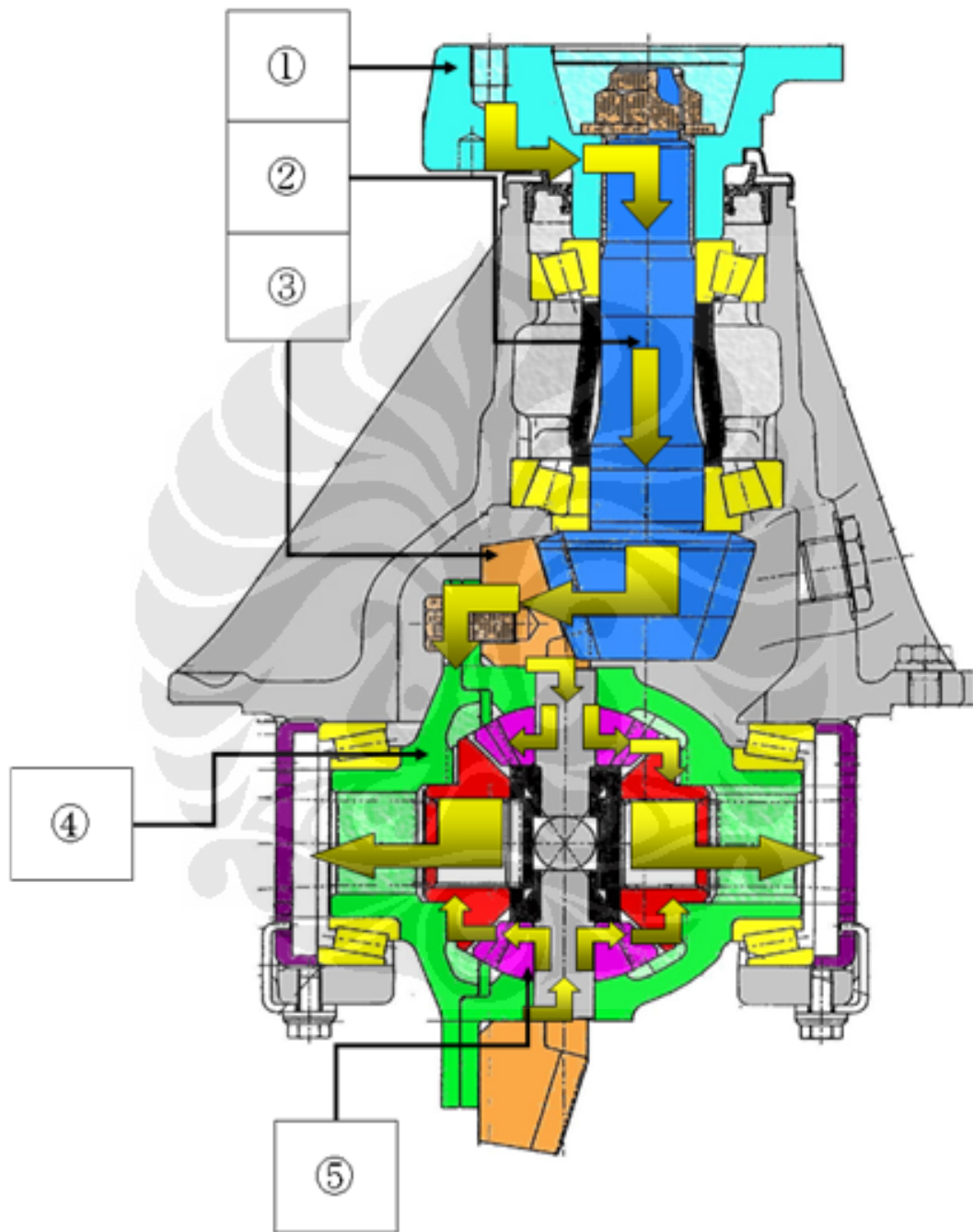
II.1.1 Definisi dan Fungsi Gardan Mobil

Differential gear atau yang sering disebut gardan merupakan salah satu sistem penggerak pada mobil. Setiap susunan roda pasti mempunyai suatu pusat gaya dimana kecepatan sudut yang bekerja jumlahnya sama dengan kecepatan sudut dari roda yang berputar pada poros yang sama. Gaya yang bekerja ini membuat *shaft* yang satu berputar lebih cepat dari *shaft* yang lain . kecepatan dari *main driving member* sama dengan rata-rata dari kecepatan dua *shafts* yang lain, inilah yang terjadi pada gardan.



Gambar II. 1 Gardan[15]

II.1.2 Prinsip Kerja Gardan Mobil



Gambar II. 2 Prinsip Kerja Gardan[9]

Prinsip kerja dan cara kerja sistem penggerak adalah menyalurkan dan mendistribusikan tenaga dari *prime power* ke setiap roda. Gardan sebagai sistem penggerak memiliki alur, dapat dilihat pada gambar II.2. Gaya yang disalurkan *propeller shaft* akan memutar *differential pinion*, selanjutnya gaya tersebut akan ditransferkan ke *ring gear*. Ring gear akan memutar mentransfer gaya yang diterima ke *differential case*, sehingga *inner part side gear* akan berputar dan roda ban akan bergerak. Inti dari sistem penggerak ini adalah bagaimana pendistribusian power yang tepat maka akan membuat penggunaan power lebih efektif dan efisien, yang pada akhirnya akan membuat kendaraan menjadi lebih irit.

II.2 MATERIAL GARDAN MOBIL

II.2.1 Besi Tuang Kelabu

Tabel I.1. Komposisi kimia dari besi tuang [2]

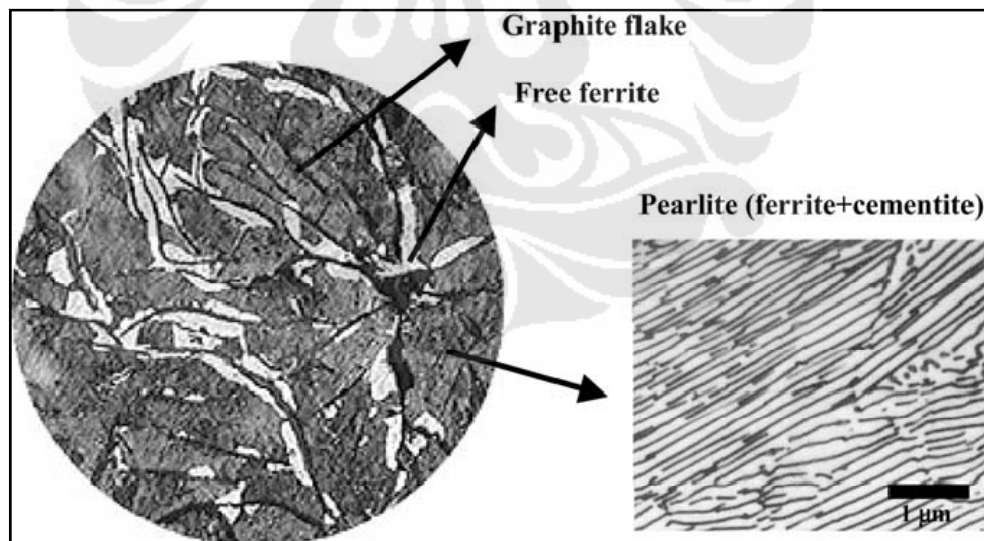
Besi Tuang	% Komposisi				
	C	Si	Mn	P	S
Kelabu	2.5-4.0	1.0-3.0	0.2-1.0	0.002-1.0	0.02-0.25
Putih	1.8-3.6	0.5-1.9	0.25-0.8	0.006-0.2	0.006-0.2
Mampu Tempa	2.2-2.9	0.9-1.9	0.25-0.8	0.002-0.2	0.002-0.2
ulet	3.0-4.0	1.8-2.8	0.1-1.0	0.01-0.03	0.001-0.1

Dengan komposisi kimia seperti terdapat dalam table I.1 di atas, yaitu kadar karbon yang tinggi dan laju pendinginan yang lambat, maka karbon dalam besi cair tidak sepenuhnya akan larut dan tercampur di dalam besi. Melainkan akan memisahkan diri sebagai grafit yang berbentuk serpih (*flake*) sewaktu proses pembekuan. Besi tuang kelabu merupakan paduan besi yang memiliki kemampuan cor yang sangat baik sehingga dapat dicor dalam bentuk-bentuk yang rumit dan tipis. Besi tuang kelabu merupakan jenis besi tuang yang paling banyak diproduksi

dibandingkan jenis besi tuang yang lainnya karena harganya yang murah dan memiliki kemampuan permesinan yang sangat baik dengan kekerasan yang cukup untuk menghasilkan ketahanan aus yang sangat baik. Disebut besi tuang kelabu karena perpatahannya berwarna kelabu.

II.2.2 Struktur Mikro

Struktur dasar besi tuang kelabu terdiri dari grafit dan mungkin matriks yang berupa ferrie-sementit dan atau perlit. Grafit atau karbon bebas yang tersebar dalam besi tuang kelabu adalah suatu bentuk endapan karbon yang lunak dan getas. Kekuatan tarik kira-kira 2 Kg/mm^2 dan kekerasannya kira-kira 1 dalam skala *brinell* (HB)[4]. Ferit mempunyai sifat yang ulet tetapi bila jumlahnya berlebihan akan menurunkan kekuatan besi tuang. Seperti telah dijelaskan di atas, sementit adalah senyawa antara besi dan karbon yang mengandung C maksimal 6,67% dan mempunyai sifat yang sangat keras dan getas. Sedangkan perlit adalah struktur *eutectoid* antara ferit dan sementit yang mempunyai sifat tahan aus.



Gambar II.3 Struktur mikro besi tuang kelabu.

II.2.3 Metalurgi Besi Tuang Kelabu

Besi tuang kelabu merupakan tipe besi tuang yang paling banyak diproduksi bila dibandingkan dengan besi tuang lainnya. Hal ini disebabkan beberapa kelebihan dari besi tuang, kelabu yaitu kemampuan tuangannya yang sangat baik untuk berbagai macam ukuran, harga yang relatif lebih murah, kemampuan permesinan yang baik, kekerasan yang cukup tinggi, keketahanan aus yang memadai serta kemampuan meredam getaran yang baik.

II.2.4 Klasifikasi Besi Tuang Kelabu

Besi tuang kelabu biasanya diklasifikasikan menurut kekuatan tarik minimum dengan luas penampang tertentu. Kekuatan tariknya tergantung struktur dan ukuran matriks, distribusi, dan tipe grafit serpih. Hal ini juga telah dijelaskan di dalam ASTM A48 mengenai klasifikasi besi tuang kelabu berdasarkan uji tarik. Berdasarkan uji tarik terdapat lima kelas besi tuang kelabu mulai dari kelas 20 sampai dengan kelas 60. Di dalam standar ASTM A48 dijelaskan mengenai pembagian kelas. Kelas 20 menandakan minimal *tensile strength* yang harus dimiliki adalah 140 MPa atau 20 Ksi. Kelas 60 memiliki minimum *tensile strength* 410 MPa atau 60 Ksi.

Secara umum berdasarkan kelas yang telah ada ini, maka dapat mempermudah untuk menentukan aplikasi besi tuang kelabu. Dengan penambahan *tensile strength* dari kelas 20 sampai kelas 60 dapat terlihat:

- Kekuatan dari besi tuang kelabu, beserta kekuatan peningkatan temperature,
- Kemampuan untuk dilakukan dalam permesinan,
- *Mododulus of elasticity*, dan
- Ketahanan Aus.

Berdasarkan daerah pembekuan, besi tuang kelabu dapat diklasifikasikan menjadi besi tuang kelabu hipoeutektik, eutektik, dan hipereutektik. Ketiga daerah itu sangat tergantung pada kadar karbon dan silikon, misalnya besi tuang kelabu dengan

2% Si mempunyai komposisi eutektik pada sekitar 3,6%. Besi tuang kelabu yang kadar karbonnya kurang dari 3,6% dan silikon kurang dari 2% akan termasuk dalam klasifikasi besi tuang kelabu hipoeutektik, sedangkan besi tuang kelabu yang mengandung kadar karbon lebih dari 3,6% dan silikon lebih dari 2% termasuk hipereutektik[3].

II.2.5 Pengaruh Bentuk Serpih dan Distribusi Grafit

Bentuk serpih dan distribusi grafit dalam struktur mikro besi tuang kelabu akan mempengaruhi sifat mekanisnya [6]. Serpih grafit berukuran besar biasanya kurang disukai dibandingkan serpih berukuran kecil karena dapat mengganggu terbentuknya matriks perlitik sehingga dapat menurunkan kekuatan tarik dan keuletan besi tuang kelabu.

Ukuran besar kecilnya serpih grafit ditentukan dengan cara membandingkan ukuran standar yang dibuat oleh AFS (*American Foundrymen's Society*) dan ASTM (*American Society for Testing Materials*). Menurut ASTM A247-03, pengukuran dilakukan terhadap panjang serpih grafit terbesar pada bagian dalam besi tuang kelabu yang belum dietsa dengan pembesaran 100X seperti yang dapat dilihat pada tabel II.3.

Size Class	Maximum Dimension at $\times 100$, mm ^A
1	128
2	64
3	32
4	16
5	8
6	4
7	2
8	1

^AThe gradation of sizes shown in each size class from the maximum dimension were computer calculated at the National Bureau of Standards using data obtained from actual micrographs (Wyman, L. L., and Moore, G. A., "Quantitative Metallographic Evaluations of Graphite Microstructures," *Modern Castings*, Vol 43, No. 1, Jan. 1963, p. 7).

Tabel II.2 Berbagai ukuran Serpih Grafit [5]

Cara terbaik untuk memperkecil ukuran serpih grafit dan memperbaiki distribusinya dengan penambahan inokulan[4]. Inokulan akan mempromosikan pembentukan benih *austenite* primer dengan menghasilkan butir-butir kecil yang akan memperkecil ukuran serpih grafit yang terbentuk dan memperbaiki distribusinya.

Menurut standar yang dibuat oleh AFS dan ASTM, distribusi grafit dibagi dalam 5 tipe dari tipe A sampai tipe E. Di bawah akan dijelaskan dari kelima tipe grafit ini:

1. Tipe A

Struktur yang grafitnya tersebar merata dalam orientasi sembarang (*uniform distribution, random orientation*) memiliki serpih grafit bengkok. Grafit tipe A ini paling banyak disukai karena menyebabkan kekuatan tarik yang tinggi dan terdapat dalam besi tuang kelabu dengan kadar karbon rendah.

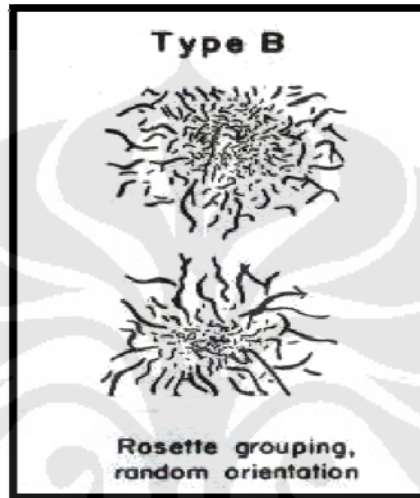


Gambar II.4 Struktur Grafit Tipe A [2]

2. Tipe B

Struktur yang grafitnya mengelompokkan dalam bentuk *rosset*. Grafitnya berasal dari sel eutektik yang bagian tengahnya terdapat potongan-potongan eutektik halus dan di sekitarnya terdapat serpih grafit radial. Struktur ini cenderung

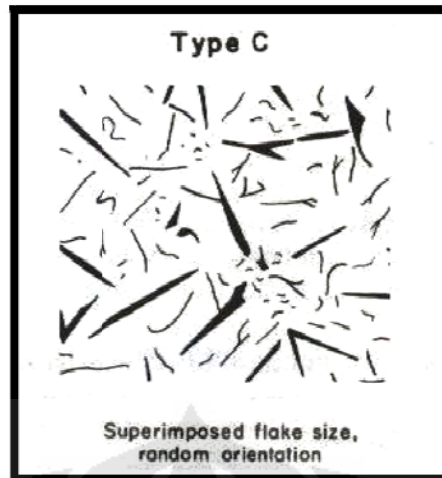
mengendap pada bagian benda tuang yang tipis yaitu pada bagian permukaannya, sedangkan di bagian dalam cenderung terdapat struktur yang grafitnya tersebar merata. Karena banyak terjadi pengendapan grafit, hal ini menyebabkan kekuatan besi tuang menurun. Grafit tipe ini banyak terdapat dalam besi tuang kelabu dengan karbon tinggi



Gambar II.5 Struktur Grafit Tipe B [2]

3. Tipe C

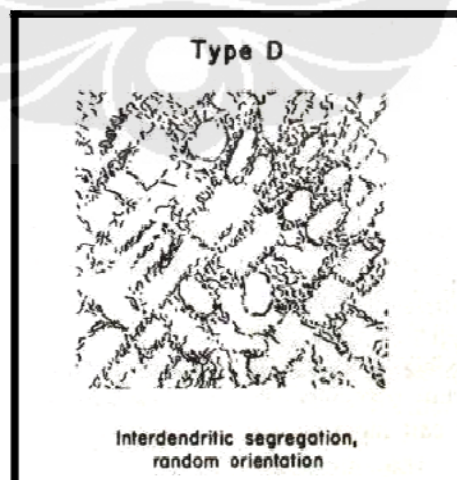
Struktur yang serpih grafitnya saling menumpuk dalam orientasi sembarang (*superimposed flake size, random distribution*) terdapat dalam besi tuang kelabu *hyper-eutetik* yang berkadar karbon tinggi, karena itu mendorong pembentukan grafit ferit. Dalam struktur ini, serpih-serpih grafit yang panjang atau lebar terendapkan dan di kelilingi oleh serpih-serpih eutektik. Karena sifatnya yang menurunkan kekuatan mekanis, struktur jenis ini tidak banyak digunakan.



Gambar II.6 Struktur Grafit Tipe C [2]

4. Tipe D

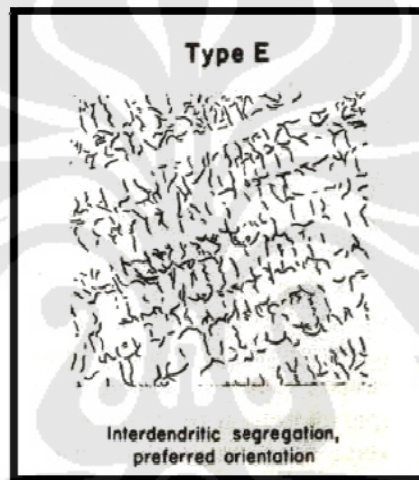
Struktur yang grafitnya menyisip antar *dendrite* dan berorientasi sembarang (*interdendritic segregation, random orientation*). Struktur ini memiliki serpih-serpih grafit eutektik halus dan merata yang mengkristal di antara dendrit-dendrit Kristal dari austenit. Serpih-serpih grafit halus ini muncul karena adanya pendinginan lanjut pada pembekuan eutektik. Struktur ini umumnya mempunyai kekuatan yang rendah karena adanya matriks ferit. Grafit tipe ini biasanya terjadi pada besi tuang kelabu dengan laju pendinginan yang relatif cepat atau pada bagian yang tipis.



Gambar II.7 Struktur Grafit Tipe D [2]

5. Tipe E

Struktur ini yang grafitnya bersegregasi antar *dendrite* dalam orientasi tertentu (*interdendritic segregation, preferred orientation*) terjadi dalam besi tuang kelabu karbon rendah. Jenis ini juga dapat terjadi pada besi tuang kelabu hipo-eutektik yang didinginkan dengan laju pendinginan yang relatif lebih cepat. Perbedaan struktur tipe E dengan tipe D, terletak pada kadar karbon yang lebih rendah dari tipe D. Sifat-sifat mekanisnya menjadi lebih baik dan lebih banyak diminati dibandingkan dengan grafit tipe D.

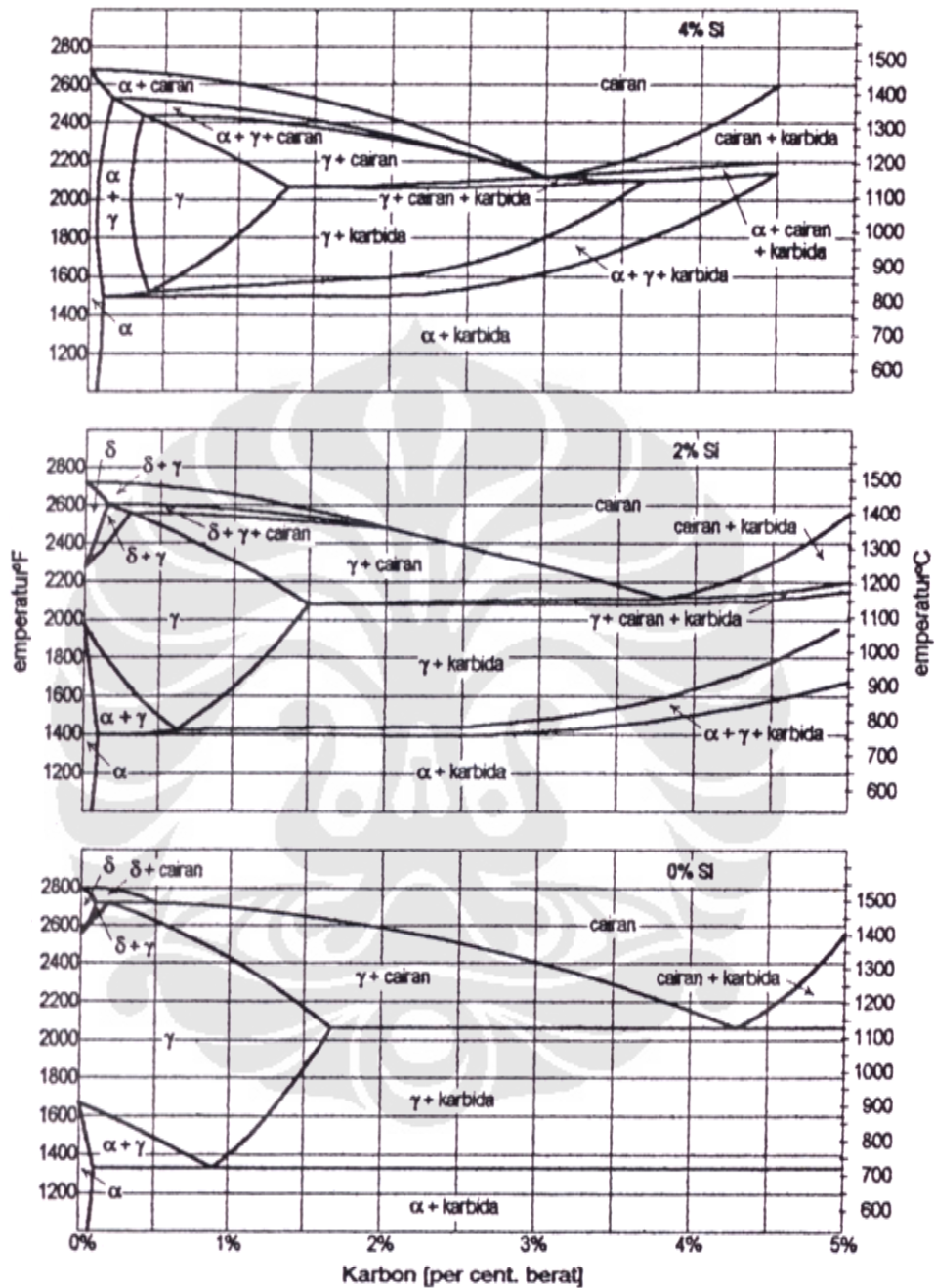


Gambar II.8 struktur grafit tipe [2]

II.2.6 Pembekuan Besi Tuang Kelabu [2]

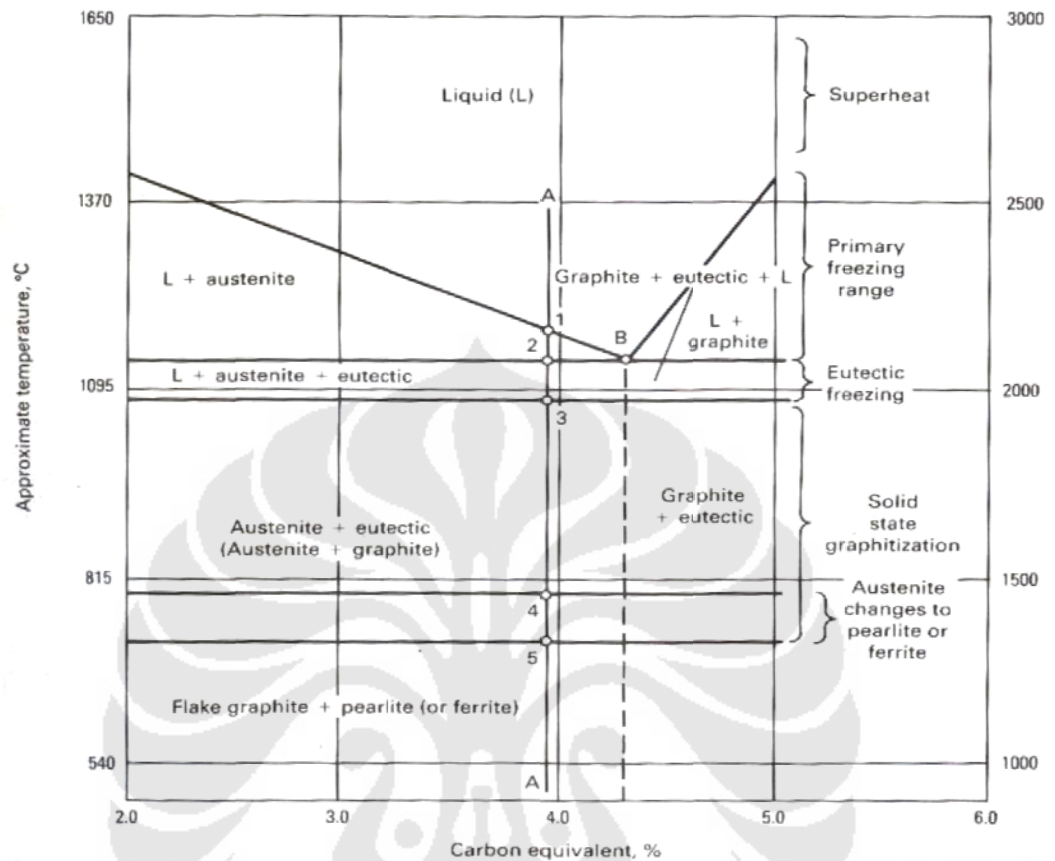
Untuk mendapatkan besi tuang kelabu, berintik atau cil, tergantung oleh proses pembekuan, pendinginan, dan komposisi kimianya sendiri.

Prinsip dasar dari proses pembekuan dapat dihubungkan ke dalam sistem keseimbangan *ternary* besi-karbon-silikon (Fe-C-Si). Lihat gambar II.3.



Gambar II.9 Diagram Kesetimbangan Fe-C-Si [3].

Di dalam gambar II.3 jelas terlihat bahwa besar kadar silikon berpengaruh besar terhadap sistem kesetimbangan Fe-C-Si.



Gambar II.10 Diagram Pembekuan dalam Besi Tuang. [2]

Secara sederhana, sistim kesetimbangan terner Fe-C-Si terlihat dalam gambar II.4. Penjelasan adalah sebagai berikut.

Proses pembekuan dan pendinginan besi tuang yang mempunyai komposisi A, disebut komposisi *hypoeutektik*, diawali pada titik 1. Dalam kondisi laju pembekuan yang lambat, larutan padat *austenite* berstruktur dendrit mulai terbentuk dan akan terus tumbuh hingga temperatur di titik 2. Setelah titik 2 dilampaui, pembekuan *eutektik* mulai terjadi seiring dengan turunnya temperatur. Larutan padat *eutektik* mungkin terbentuk sebagai campuran antara austenite dan besi karbida (Fe_3C) atau campuran antara *austenite* dan grafit (karbon bebas). Bila campuran pertama terbentuk, akhir pembekuannya akan membentuk struktur besi tuang putih. Bila campuran kedua terbentuk pembekuannya membentuk struktur besi tuang kelabu atau

tuang nodul. Grafit dapat timbul bila faktor-faktor yang mempengaruhi grafitisasi terpenuhi.

Pembekuan dapat dikatakan selesai bila titik 3 telah dicapai dan besi tuang dapat membeku sebagai besi tuang kelabu, putih atau nodul. Besi tuang kelabu dan besi tuang nodul mempunyai struktur yang terdiri dari *austenite* dan grafit, sedangkan besi tuang putih mempunyai struktur yang terdiri dari *austenite* dan senyawa karbida.

Selanjutnya antara titik 3 dan titik 4 terjadi proses pendinginan yang menghasilkan endapan karbon *austenite*. Hal ini disebabkan, pada akhir pembekuan kadar karbon maksimum yang terlarut dalam *austenite* sebesar $\pm 2\%$. Akan tetapi, setelah temperatur mencapai titik 4, daya larut *austenite* terhadap karbon hanya sebesar 0,6-0,8%. Kelebihan karbon dalam *austenite* diendapkan sebagai senyawa karbida dalam besi tuang putih atau sebagai grafit (karbon bebas) dalam besi tuang kelabu.

Selama pendinginan dari titik 4 ke titik 5, terjadi perubahan dalam keadaan padat, yaitu transformasi *austenite*. Bila proses grafitisasi terjadi dengan sempurna, hanya ferit yang terbentuk dalam matriks besi tuang kelabu dan nodul. Dan bila proses grafitisasi tersebut kurang sempurna, matriks yang terbentuk adalah kombinasi antara ferit dan perlit atau hanya matriks perlit. Biasanya pada besi tuang nodul terbentuk kombinasi ferit dan perlit. Ferit terbentuk di sekeliling bola-bola grafit (grafit spheroid), sedangkan pada besi putih hanya terbentuk perlit.

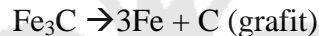
Terakhir pendinginan di titik 5 tercapai apabila temperatur ruang tidak lagi mengalami perubahan yang cukup berarti. Dengan kondisi laju pendinginan yang lambat dan komposisi A ini maka akan memberikan struktur mikro seperti pada gambar II.3.

Pembekuan besi tuang pada daerah *hyper-eutektik*, yaitu daerah di sebelah grafi, sudah berlangsung saat logam masih dalam keadaan cair sebagai bentuk *kish*.

Kish mempunyai berat jenis (*density*) yang relatif rendah maka cenderung untuk naik kepermukaan cairan. Oleh sebab itu, karbon pada sisa cairan konsentrasi *eutektik* akan membentuk grafit dan *austenite* secara bersamaan.

II.2.7 Pengaruh Komposisi Kimia dalam Struktur Mikro Besi Tuang Kelabu

Pada tabel I.1 dapat dilihat kandungan unsur tiap jenis besi tuang kelabu. Karbon dan silikon adalah unsur utama dalam tiap jenis besi tuang. Karbon dan silikon adalah unsur paduan utama dalam besi tuang kelabu dan memiliki pengaruh yang sangat besar dalam struktur mikro dan sifat mekanis besi tuang kelabu [3]. Unsur paduan tersebut akan mempromosikan terbentuknya grafit. Pembentukan grafit adalah proses pengendapan karbon bebas dalam besi atau karbida besi (Fe_3C) yang kemudian berdekomposisi menjadi karbon bebas (grafit) dan besi (Fe) dengan reaksi:



Unsur-unsur lain yang juga berfungsi menstabilkan karbida besi antara lain kromium (Cr), mangan (Mn) dan Sulfur (S).

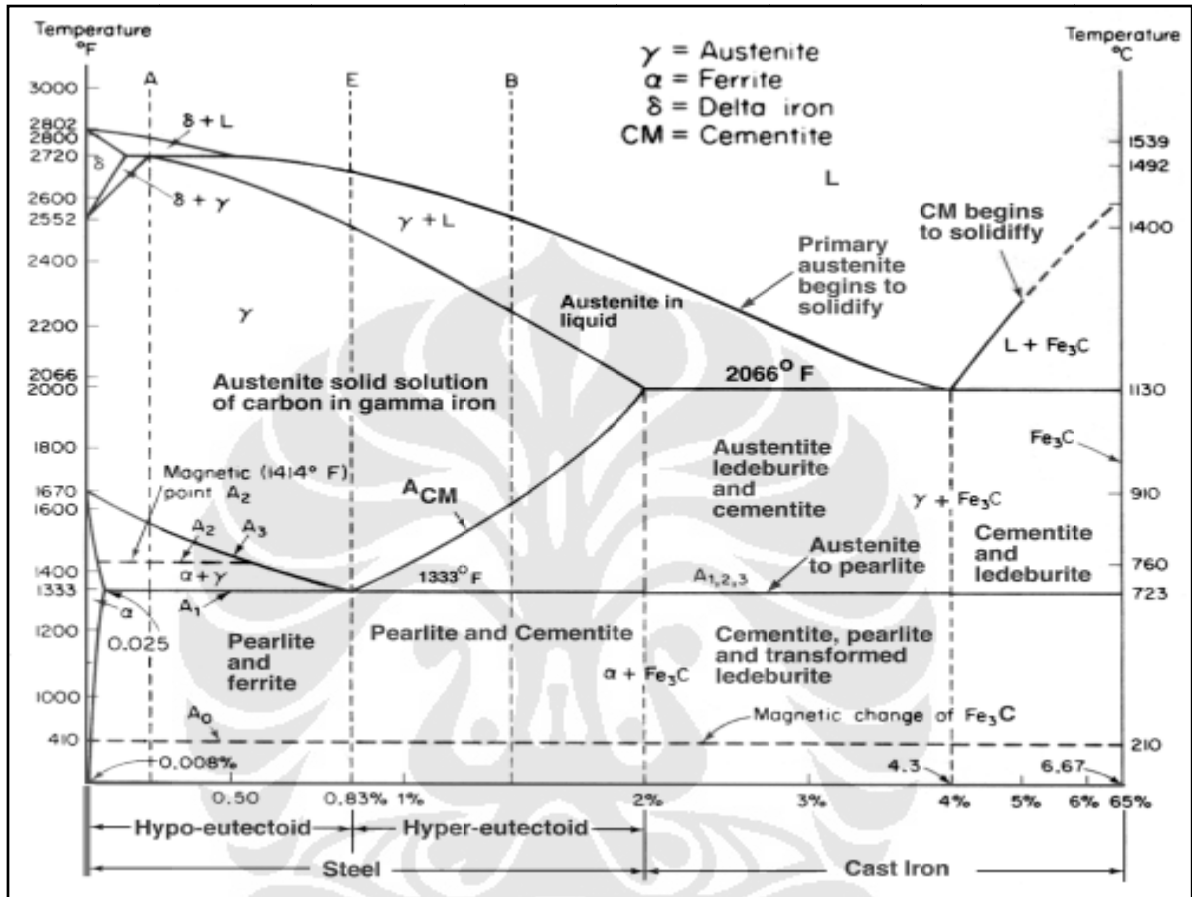
II.2.7.1 Karbon dan Silikon

Karbon dan silikon akan mempromosikan terbentuknya grafit dalam besi tuang kelabu. Jika kadar unsur ini dinaikkan, besi tuang kelabu akan lebih cenderung terbentuk daripada besi tuang putih. Karbon dalam besi tuang kelabu dapat berbentuk grafit bebas atau terikat sebagai karbida besi. Jika proses penggrafitan berjalan dengan sempurna, besi tuang kelabu akan mempunyai struktur matriks feritik dengan grafit terbentuk serpih. Derajat penggrafitan di peroleh dari persamaan[1]:

$$\%C_{(\text{total})} = \%C_{(\text{grafit})} + \%C_{(\text{Fe}_3\text{C})} \quad (1)$$

Jika kadar karbon terikat dalam besi antara 0,5%--0,8% dengan kandungan silikon sekitar 2%, berarti sebagian besar struktur mikro adalah perlitik. Struktur ini berasal dari *eutectoid*, *austenit* yang mengandung 0,8% karbon. Sedangkan, untuk

menghasilkan penggrafitan yang cukup selama pembekuan diperlukan karbon sekitar 2,2% dan tergantung oleh kadar silikon dalam besi tuang kelabu.



Gambar II.11 Diagram Keseimbangan Fe dan C [2].

Kadar silikon dalam besi tuang kelabu bervariasi antara 1—3,5% berat. Dengan meningkatkan kadar silikon maka komposisi akan tergeser ke kiri. Karbon ekuivalen merupakan penjumlahan kandungan karbon dan silikon di dalam besi tuang kelabu yang dapat mempengaruhi sifat besi tuang tersebut. Perhitungan karbon ekuivalen (CE) dapat dilakukan dengan persamaan [2]:

$$CE\% = \%C_{(\text{dalam besi})} + 1/3\%Si_{(\text{dalam besi})} \quad (2)$$

Pada system Fe-C, komposisi eutektik berada pada titik 4,3% karbon. Jadi, bila karbon ekuivalen (CE) sama dengan 4,3%, paduan tersebut disebut komposisi eutektik dan bila lebih dari 4,3% disebut hipereutektik.

II.2.7.2 Sulfur dan Mangan

Di dalam besi tuang kelabu, sulfur terdapat dalam jumlah yang kecil. Besi tuang kelabu komersial biasanya mengandung 0,06 sampai 0,12% sulfur [1]. Pengaruh sulfur di dalam besi tuang merupakan kebalikan dari silikon. Semakin banyak sulfur dalam besi tuang kelabu menyebabkan makin banyaknya karbon yang terikat, sehingga cenderung membentuk besi tuang putih yang keras dan getas. Akan tetapi, dalam jumlah yang kecil, sulfur justru bertindak sebagai pembentuk grafit atau penstabil karbida—tergantung banyaknya [4].

Pada kadar sulfur yang rendah, di bawah 0,01 %S, menghasilkan proses grafitisasi paling sempurna [1]. Akan tetapi dengan kadar sulfur yang tinggi dalam besi tuang kelabu membentuk struktur mikro perlit paling sempurna atau menambah jumlah karbon dalam bentuk senyawa Fe_3C . Sulfur dalam besi tuang, tanpa memperhatikan pengaruh Mn, akan membentuk senyawa FeS yang akan bersegregasi ke dalam batas butir selama proses pembekuan. Sulfur dalam bentuk FeS cenderung menggalakan pembentukan sementit (Fe_3C), yang membuat besi tuang bertambah kekerasannya [1].

Besi tuang kelabu, mengandung unsur mangan (Mn) yang mempunyai afinitas lebih besar daripada Fe terhadap sulfur. Sehingga berbentuk senyawa MnS dan pengaruh sulfur sebagai pendorong pembentukan perlit dapat dikurangi lebih jauh. Pengaruh sulfur dan mangan dalam besi tuang kelabu menghalangi pembentukan grafit dan mempromosikan terbentuknya perlit. Jadi, bila di dalam besi tuang kelabu hanya terdapat sulfur atau mangan maka akan berfungsi sebagai penstabil karbida. Akan tetapi bila kedua unsur tersebut ada dalam besi tuang, fungsi keduanya sebagai penstabil karbida akan hilang. Bila dalam besi tuang kelabu diinginkan terjadinya

struktur perlitik besi tuang kelabu perlu ditambahkan mangan untuk berikatan dengan sulfur dan menjadi sulfida besi MnS [3].

Dapat tidaknya sulfur bereaksi membentuk senyawa MnS tergantung oleh mangan yang ada. Hal ini disebabkan unsur Mn sendiri adalah unsur yang menstabilkan bentuk karbida dan cenderung menambah jumlah dari Fe₃C. Akan tetapi pengaruh tersebut jauh lebih rendah di bandingkan dengan sulfur.

II.2.7.3 *Phosfor*

Penambahan di dalam besi tuang kelabu sampai batas 1% [2], memiliki pengaruh yang sama dengan unsur silikon, yaitu menurunkan nilai total karbon sebesar 0,33% pada setiap penambahan 1% P. Di dalam besi tuang kelabu biasanya terdapat *phosfor* sekitar 0,1—0,9% berbentuk fosfida besi yang disebut *steadit* (Fe₃P) yang serupa dengan karbida besi [1]. Steadit ini mempunyai temperatur lebur yang rendah antara 950-980 °C, membeku pada temperatur yang relatif rendah dan membentuk *turner eutektik* dengan *eutektik* dan *sementit*. Dengan demikian, bertambahnya kadar fosfor di dalam besi tuang kelabu dapat menjadi salah satu penyebab utama bertambahnya kekerasan dan kegetasan, khususnya dalam *phosfor* di atas 0,3%. Segregasi dari *phosfor* diakibatkan oleh menurunnya temperatur akhir pembekuan besi tuang sampai kira-kira 1800 °F. Disebabkan oleh segregasi, *steadit* biasanya mengambil bentuk pola sel *eutektik* yang berkembang selama proses pembekuan. Pada akhir pembekuan, kandungan *steadit* kira-kira 10% P. Di dalam kondisi khusus dari proses peleburan dan pendinginan—besi karbida bersama *phospid* dalam sistem *eutektik turner* Fe-Fe₃P-Fe₃C—jumlah *steadit* yang mungkin terbentuk pada akhir pembekuan lebih dari 10 X %P [1].

Phosfor dapat dipandang sebagai penambah kecenderungan pembentuk tipe *eutektik*, khususnya dalam besi tuang, karena *steadit* membentuk sel *eutektik* sebagai *segregate*.

Dengan demikian, besi tuang kelabu yang di dalamnya terdapat fosfor dengan kadar yang tinggi (di atas 0,3%) akan meningkatkan kekerasan dan kegetasan serta meningkatkan fluiditas. Penambahan fosfor akan mengubah persamaan karbon ekuivalen menjadi [2]:

$$CE = \%C + 1/3 (\%Si + \%P) \quad (3)$$

II.2.7.4 Tembaga

Penambahan unsur tembaga sebagai paduan besi tuang kelabu akan mempromosikan perlit pada bagian benda tuang yang tebal sekaligus mengurangi kecenderungan terbentuknya *cil* karena sifatnya sebagai unsur. Kekuatan tarik besi tuang kelabu akan meningkat dengan naiknya kadar tembaga sampai dengan 3%. Di samping itu, kekerasannya juga meningkat karena bertambahnya jumlah perlit yang terbentuk dan mengerasnya ferit.

II.2.8 Inokulasi dalam Besi Tuang Kelabu

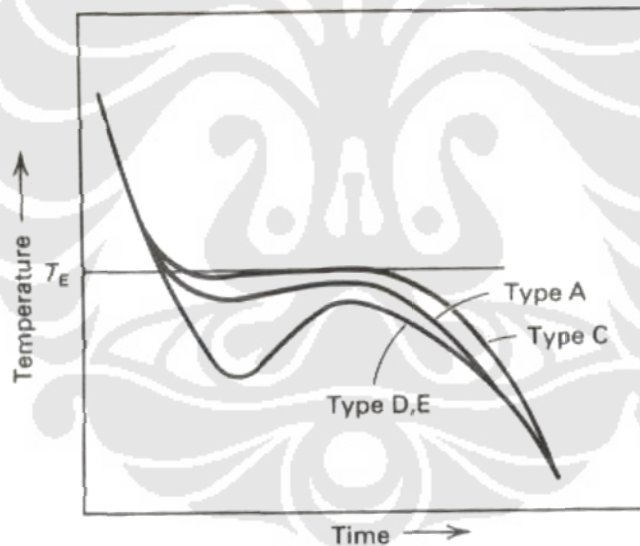
Tujuan proses inokulasi adalah mempromosikan nukleasi grafit yang akan mencegah atau menghambat pembentukan karbida besi (Fe_3C) pada bagian-bagian yang tipis dan bersudut tajam serta meningkatkan banyaknya sel eutektik yang terbentuk. Sebagian besar paduan yang ditambahkan ke dalam besi cair sebagai inokulan mengandung Si yang tinggi, misalnya *ferrosilicon*.

Inokulasi adalah proses penambahan unsur logam atau paduan ke dalam besi cair sebelum penuangan ke dalam cetakan serta dilakukan dengan tidak menyebabkan terjadinya perubahan komposisi kimia yang berarti. Kegunaan utama dari perlakuan itu, di antaranya:

- Mencegah pembentukan karbida besi atau *cil* di bagian benda tuang yang tipis agar kemampuan permesinan besi tidak mengalami penurunan.
- Meningkatkan kekuatan, ketahanan aus, dan mengendalikan struktur sehingga menghasilkan sifat-sifat yang lebih homogen antara benda tuang yang tebal dan yang tipis.

Pembekuan setimbang untuk memperoleh matriks perlit dengan grafit serpih yang halus pada hampir semua kondisi penuangan besi tuang kelabu, ternyata sulit didapat. Hal seperti variasi komposisi kimia, temperatur tuang, laju pembekuan, ketebalan benda, dan lain-lain dapat menyebabkan logam menjadi dingin di bawah garis temperatur *eutektik* stabil. Hal ini disebut pendinginan lanjut (*under cooling*), yang dapat menyebabkan pembentukan cil, terutama pada tuangan yang tipis.

Pendinginan lanjut erat kaitannya dengan derajat nukleasi logam dan sangat bergantung pada laju pendinginan. Jika derajat nukleasi menurun dan laju pendinginan meningkat, pendinginan lanjut pun akan meningkat menghasilkan struktur *eutektik austenite-karbida* tidak diinginkan.



Gambar II.12 Kurva Karakteristik Pendinginan dengan Perbedaan Grafit Serpih, pada Temperatur Kesetimbangan Eutektik

Inokulasi memungkinkan pembentukan inti tambahan untuk pengkristalan pada proses pembekuan, sehingga menghindarkan pendinginan lanjut, sekaligus menggalakan penggrafitan dan menghalangi terbentuknya daerah keras pada matriks besi tuang kelabu. Pada gambar II.6 terlihat kurva pendinginlogam yang tidak di inokulasi dan yang di inokulasi, serta besi tuang putih.

II.2.9 Besi Tuang Kelabu FC 50

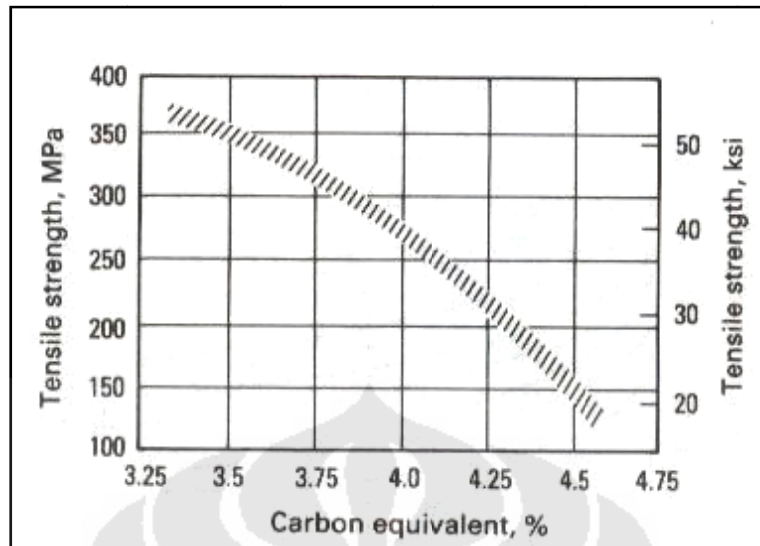
Besi tuang kelabu yang digunakan dalam penelitian ini adalah besi tuang kelabu yang menurut spesifikasi *Japanese Industrial Standard (JIS)* dan *American Standart for Testing Material (ASTM A48)*, tergolong FC 50 yang berarti *Ferro Casting* dengan kekuatan tarik minimal 50 kg/mm^2 .

II.2.10 Sifat Mekanis Besi Tuang Kelabu

Sifat-sifat mekanis besi tuang kelabu, antara lain kekuatan tarik, kekerasan, mampu permesinan, ketahanan aus, dan sebagainya.

II.2.10.1 Kekuatan Tarik

Karbon mempunyai pengaruh yang besar pada kekuatan tarik yang jumlah kandungan karbonnya yang rendah akan menaikkan kekuatannya. Silikon memberikan pengaruh yang sama seperti karbon, hanya pengaruhnya lebih kecil. Kekuatan uji tarik suatu material dapat digunakan untuk menentukan klasifikasi material tersebut. Seperti pada besi tuang kelabu yang dibagi ke beberapa kelas, yaitu FC10, FC15, FC20, sampai dengan FC 50. Penamaan yang dilakukan didasarkan oleh hasil uji tarik dengan FC10 yaitu 10 Kgf/cm^2 , begitu juga FC 50 yang memiliki nilai uji tarik sebesar 50 Kgf/mm^2 .



Gambar II.13 Pengaruh Karbon Ekuivalen terhadap Uji Tarik Besi Tuang Kelabu[2].

Kadar silikon yang tinggi (di atas 2,2%) dapat menurunkan kekuatan besi tuang kelabu. Hal ini disebabkan oleh terbentuknya inklusi ferit yang dapat menyebabkan struktur besi tuang kelabu menjadi getas. Presentase mangan di bawah 1,2% menguatkan besi tuang kelabu, sedangkan fosfor dan sulfur memberikan pengaruh yang kecil terhadap besi tuang kelabu, dalam presentase yang biasa [3].

II.2.10.2 Kekerasan

Struktur penyusun besi tuang menentukan kekerasannya. Grafit kasar akan menurunkan kekerasan, sedangkan grafit halus sebaliknya. Kekerasan besi tuang kelabu berkisar 130—270 skala *brinell* [2]. Terdapat hubungan sejalan antara kekerasan dan kekuatan tarik besi tuang kelabu.

II.2.10.3 Mampu Mesin

Besi tuang kelabu memiliki mampu permesinan yang sangat baik. Hal ini terutama disebabkan oleh adanya grafit yang berfungsi sebagai pelumas. Kekerasan dan kekuatan tarik yang lebih rendah menyebabkan mampu mesin besi tuang kelabu menjadi lebih baik.

II.2.10.4 Ketahanan Aus

Besi tuang kelabu dengan matriks perlit mempunyai ketahanan aus yang lebih tinggi dari pada matriks ferit. Ketahanan terhadap gesekan dengan pelumas yang minim dari besi tuang kelabu sangat baik. Hal ini disebabkan oleh grafit dalam besi tuang kelabu yang berfungsi sebagai pelumas [4].

II.2.10.5 Kapasitas Peredaman

Kapasitas peredaman (*damping capacity*) adalah kemampuan dari bahan untuk dapat menyerap energy yang disebabkan oleh vibrasi (getaran). Dalam hal ini besi tuang kelabu memiliki kemampuan untuk meredam getaran yang tinggi dan sangat berguna untuk bahan-bahan bagian dari mesin, seperti blok silinder (*cylinder blocks*), tutup silinder, rumah transmisi (*gear covers*) dan lain-lain[4].

II.2.11 Pengaruh Temperatur terhadap Sifat Mekanis Besi Tuang Kelabu

Sifat mekanis besi tuang kelabu dapat dipengaruhi oleh temperatur. Proses yang terjadi disebut dengan perlakuan panas. Dalam hal ini, proses perlakuan panas besi tuang dapat dibagi dalam tiga kelompok utama [2]:

1. Pembebasan tegangan (*stress relief*), yaitu perlakuan pada temperatur rendah untuk penghilangan tegangan-tegangan sisa dari hasil proses pengecoran.
2. Pelunakan (*annealing*), yaitu perlakuan panas untuk mengurangi kekerasan dan meningkatkan kemampuan mesin suatu material.
3. Pengerasan (*hardening*), yaitu melalui pencelupan (*quenching*) untuk menghasilkan sebagian atau keseluruhan kekerasan suatu material menjadi semakin tinggi.

II.2.11.1 Pembebasan Tegangan

Umumnya besi tuang kelabu (*as-cast*) mengandung tegangan-tegangan sisa yang disebabkan oleh proses pendinginan dengan kecepatan yang berbeda-beda untuk setiap bagian pada suatu benda coran. Hasil tegangan sisa ini dapat mengurangi

kekuatan. Hal ini dapat menyebabkan distorsi dan dalam beberapa kasus khusus sering menimbulkan kegagalan atau perpatahan. Adapun kekuatan dari tegangan-tegangan tersebut tergantung dari ukuran dan bentuk benda coran, penggunaan teknik pengecoran, komposisi, dan sifat bahan coran.

Temperatur yang baik untuk menghilangkan tegangan biasanya di bawah daerah transformasi perlit untuk jadi *austenite*. Temperatur minimum yang dapat digunakan untuk pembebasan tegangan (85%) yang dibutuhkan besi tuang tanpa paduan adalah 600°C [7]. Besi tuang kelabu paduan rendah biasanya membutuhkan temperatur pembebasan tegangan yang lebih tinggi, sekitar $600\text{--}650^{\circ}\text{C}$, tergantung komposisi paduan. Untuk besi paduan tinggi, salah satu contoh aplikasi temperatur yang dibutuhkan untuk pembebasan mendekati 90% dari tegangan awal adalah 650°C .

Berikut ini adalah temperatur yang dianjurkan untuk pembebasan tegangan [7]:

- | | |
|--|-----------------------------------|
| ➤ Tanpa paduan, atau paduan tanpa kromium (Cr) | $540\text{--}570^{\circ}\text{C}$ |
| ➤ 0,15—0,30%Cr | $600\text{--}625^{\circ}\text{C}$ |
| ➤ Lebih dari 0,30% Cr | $625\text{--}650^{\circ}\text{C}$ |

Kecepatan pemanasan besi tuang kelabu ditunjukkan untuk menghilangkan tegangan tergantung oleh bentuk dari bagian coran. Kecepatan pendinginan dilakukan dengan pendinginan yang lambat dari temperatur pembebasan tegangan dan merupakan yang suatu unsur penting dari pembebasan tegangan. Umumnya dianjurkan pendinginan di dalam dapur sampai 320°C atau lebih rendah sebelum melanjutkan pendinginan di udara.

II.2.11.2 Pelunakan

Proses pelunakan merupakan salah satu bentuk perlakuan panas yang sering digunakan untuk besi tuang kelabu. Dalam proses tersebut, penyerapan panas sampai temperatur cukup tinggi untuk melunakkan, sehingga meningkatkan mampu mesin.

Apabila temperatur mendekati 600°C, struktur besi tuang kelabu mempunyai pengaruh temperatur yang tidak pasti. Untuk besi paduan tanpa paduan atau besi paduan rendah, peningkatan temperatur transformasi 760°C, kecepatan pada saat penguraian karbida besi menjadi ferit dan grafit akan meningkat secara tetap, sehingga mendekati nilai maksimum.

Satu dari tiga perlakuan anil umumnya dilakukan dalam besi tuang kelabu, masing-masing untuk daerah yang temperaturnya berbeda. Ketiga perlakuan anil tersebut, yaitu *ferritizing anneal*, *medium or full anneal*, dan *graphitizing anneal*.

II.2.11.3 Pengerasan dan Penemperan

Untuk meningkatkan sifat mekanik, terutama kekuatan dan ketahanan aus. Setelah proses pengerasan dan penemperan, besi biasanya memperlihatkan ketahanan aus mendekati lima kali lebih besar daripada besi tuang perlitik.

Dapur pengerasan atau *salt-bath* dapat digunakan untuk tujuan yang lebih luas pada besi tuang kelabu dibanding pengerasan dengan *flame* atau induksi. Dalam dapur pengerasan atau salt-barh, benda cor dapat ditahan pada temperatur di atas daerah transformasi selama waktu yang dibutuhkan. Besi tuang kelabu tanpa paduan dengan kandungan karbon yang rendah harus diaustenisasi dalam jangka waktu yang lebih lama. Dengan meningkatnya waktu, lebih banyak karbon yang larut ke dalam *austenite* dan kekerasan setelah pencelupan akan meningkat.

Kandungan silikon yang lebih tinggi pada besi tuang kelabu dengan kandungan karbon 0,60% akan memperlihatkan sifat kekerasan yang lebih tinggi daripada baja karbon dengan kandungan karbon yang sama. Pengaruh dari silikon dalam mengurangi kelarutan karbon dalam *austenite*, yaitu besi tanpa paduan dengan kandungan silikon yang lebih tinggi akan membutuhkan temperatur austenisasi yang lebih tinggi untuk memperoleh sifat kekerasan yang maksimum.

Mangan dan *molybdenum* merupakan unsur yang dapat meningkatkan sifat kekerasan. Kromium dan nikel digunakan untuk menonjolkan pengaruh *molybdenum*.

Meskipun kromium tidak mempunyai pengaruh terhadap sifat kekerasan besi tuang kelabu, namun kromium memberikan pengaruh penting sebagai penstabil karbida.

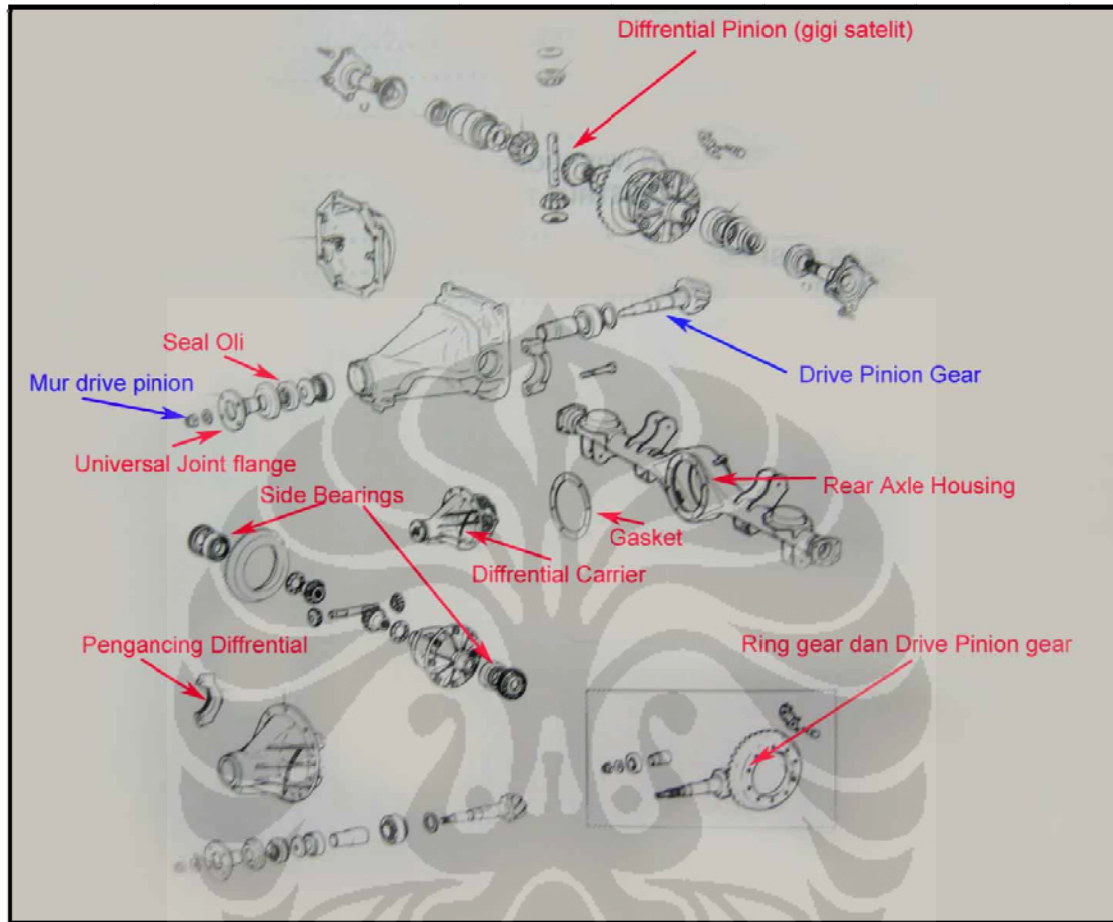
Pada pengerasan besi tuang kelabu, benda coran dipanaskan sampai temperatur yang cukup tinggi untuk menggalakan pembentukan austenite. Ditahan pada temperatur hingga didinginkan sejumlah karbon yang larut dan dicelupkan pada kecepatan yang sesuai. Pemanasan untuk austenisasi dapat dilakukan pada *salt bath* atau dalam pemanasan secara elektrik, pembakaran dengan gas atau dapur pembakan minyak. Temperatur untuk benda coran harus dipanaskan dan ditentukan oleh daerah tranformasi bagian besi tuang kelabu yang dibuat. Rumus untuk menentukan pendekatan temperatur tranformasi A_1 (dalam $^{\circ}\text{F}$) dalam besi tuang kelabu tanpa paduan adalah:

$$A_1(^{\circ}\text{F}) = 1346 + 50,4 (\% \text{Si}) - 45,0 (\% \text{Mn}) \quad (4)$$

Setelah pencelupan, benda coran biasanya di temper pada temperatur di bawah daerah temperatur tranformasi, sekitar satu jam per inci dari ketebalan penampang. Besi yang telah di celup distemper dan akan menurunkan kekerasan yang biasanya untuk mendapatkan kembali kekuatan dan ketangguhan.

Penemperan meningkatkan kekuatan tarik dari besi tuang kelabu yang diperkeras, walaupun temperatur penemperan akan memaksimumkan kekuatan luluh pada paduan yang lebih tinggi. Daerah temperatur penemperan kekuatan tinggi untuk besi tuang kelabu tanpa paduan atau dengan paduan sekitar $375\text{-}510^{\circ}\text{C}$. Temperatur penemperan yang mendekati 375°C akan meningkatkan ketahanan impak dari pengerasan besi tuang kelabu tanpa paduan dengan silikon rendah. Jika terdapat unsur paduan, diperlukan temperatur penemperan yang lebih tinggi. Peningkatan kekuatan tarik dapat dipertimbangkan dengan melakukan pengerasan dan penemperan, sedangkan peningkatan untuk sifat kelelahan jarang diperoleh. Peningkatan yang sama ditandai untuk beban pematahan tranvesal dan pembengkokan.

II.3 KEGAGALAN PADA GARDAN MOBIL



Gambar. 14 Penampang Gardan dan Komponen di Dalamnya[14]

1. *Real Axle Housing*, bagian ini dapat dikatakan sebagai tumpuan berat muatan mobil, karena letaknya dibagian roda belakang, khususnya pada mobil muatan atau minibus. Pada mini bus jarang ditemukan bagian ini bengkok, kalapun terjadi bengkok maka hal itu disebabkan oleh tabrakan. Pada truk sering ditemukan bagian ini bengkok. Hal ini disebabkan oleh muatan yang melebihi kapasitas. Bengkoknya bagian ini akan merusak as-roda bahkan merusak pula gigi gardan. Untuk menghindari hal ini maka dalam memberikan muatan pada mobil harus memperhatikan kondisi per balakang. Kalau per sampai menyentuh menyentuh differential housing, resiko bengkok sangat besar.

2. *Gasket*. Sebagai bagian untuk menghambat kebocoran oli gardan bagian ini juga penting. Kalau bocor akan mengakibatkan pelumasan pada gigi gardan tidak sempurna yang akhirnya akan kerusakan gigi gardan. Gunakan *gasket* standard atau kertas gambar, jangan menggunakan karton tebal.
3. *Differential Carrier*. Gigi *differential* dipasangkan pada bagian ini. Untuk penyetelan ulang atau penggantian gigi baru, bagian ini dilepaskan dari *differential housing*. Setelah dibersihkan dari sisa-sisa oli, lalu dipasangkan pada tanggem. Untuk membongkar dan menyetel bagian ini perlu petunjuk khusus.
4. *Differential Ring Gear and Drive Pinion gear Kit*. Dinamakan *kit* karena untuk memperbaiki *differential* cukup dengan mengganti bagian-bagian ini. Pada beberapa merk mobil banyak barang tiruan. Harganya selisih jauh. Walaupun tidak semua barang tiruan itu buruk namun Anda perlu berhati-hati untuk membeli kit ini. Bunyi yang ditimbulkan oleh kedua bagian ini sangat jelas pada saat kecepatan 80 sampai 100 km/jam gigi transmisi Anda *freekan*. Sangatlah penting sebelum membongkar bagian ini, mengadakan penelitian yang seksama. Kurangnya pengalaman bisa mengakibatkan usaha perbaikan tidak menemui hasil yang diinginkan. Maka pemeriksaan penyebab bunyi seperti ban dan bearing roda serta bunyi knalpot perlu diteliti satu persatu.
5. Bagian dari *differential carrier* ini untuk mengancing salah sisi dari *bearing ring gear*. Ulir pada bagian ini memudahkan menyetel bidang singgung dengan *drive pinion*. Hasil penyetelan dari bagian ini tidak bisa langsung jadi karena kalau tampak bidang yang bersinggungan tidak baik maka penyetelan harus diulangi dari pertama lagi yaitu melepaskan drive shaft.
6. Kedua *bearing* yang mengancing *drive shaft* ini harus diganti. Kalau waktu membongkar tampak ada titik-titik hitam atau sudah berwarna kehitaman, dengan tetap menggunakan bearing seperti ini hasil penyetelan yang sudah baik akan berubah menjadi kendor lagi dan mempercepat keausan bahan *bearing*.

Akibatnya akan membuat *drive shaft* maju dan mundur dan merusak bidang singgung antara *ring gear* dengan *drive gear*.

7. *Oil seal* yang terletak di bagian ujung dari *differential housing* ini berfungsi mencegah agar oli tidak habis. Kalau Anda menemukan di sekitas bagian ini ada basah akibat rembesan oli sebaiknya segera mengganti seal baru. Lepaskan *propeler shaft* dan kendurkan mur yang mengancing *drive gear*. Untuk melepaskan mur ini harus menggunakan kunci momen. Perhatikan untuk sampai bisa kendur membutuhkan momen berapa kg/cm^2 . Hal ini penting untuk waktu pemasangan kembali, karena kekerasannya harus sama. Karena beda besarnya maka kekerasan pengancingannyapun berbeda. Memesangkan seal ini harus duduk dengan baik dan rata. Bersihkan *differential carrier* sehingga waktu seal masuk tidak terjadi kebocoran. Boleh juga menggunakan sedikit cairan gasket pada sisi luar dari seal. Pada mobil yang sudah tua, bisa terjadi kebocoran walaupun prosedur pemasangan sudah betul. Selanjutnya perlu memperhatikan *Universal Joint Flange*.
8. *Universal joint flange* ini adalah bagian yang meneruskan putaran propeler shaft ke *differential* disamping itu ia juga berfungsi sebagai penyumbat agar oli tidak keluar. Bagian ini selalu berputar sesuai dengan putaran *proper shaft*. Walaupun terbuat dari baja alat ini juga aus termakan oleh *seal* yang terpasang pada ujung *differential carrier*. Hal inilah yang menyebabkan oli terus keluar walaupun sudah mengganti dengan *seal* baru. Untuk mengatasi kondisi seperti ini biasanya montir melepaskan per yang ada pada seal dan mambuatnya menjadi lebih pendek. Sepintas lalu bisa mengatasi tetapi tidak tuntas, karena karet dipaksa menyesuaikan dengan bagian yang sudah menyecil. Tindakan yang paling aman tentu dengan mengganti flange baru. Penulis menyarankan lakukan 2 tindakan: Pertama, seal baru pemasangannya tidak tepat pada dudukan *seal* yang lama. Artinya digeser maju atau mundur sekitar 1 mm. Kedua sisi dalam *flange* dibuat lebih pendek 1 mm juga atau menempatkan satu *ring* baja setebal 1 mm (harus ring baja) pada ujung dalam. Tindakan ini juga dimaksudkan untuk menggeser

bidang yang sudah aus tidak lagi bersinggungan dengan *seal*. Dengan tindakan ini hasilnya lebih bagus.

9. *Differential pinion* atau montir menyebutnya gigi satelit. Gigi ini yang mengatur supaya pada saat mobil menikung kecepatan roda kiri dan kanan bisa saling menyesuaikan diri. Roda pada sisi sudut dalam harus lebih lambat putarannya dibandingkan dengan putaran bagian luar. Keausan pada gigi ini biasanya menimbulkan gejala pada saat mobil mau berangkat atau pada saat berjalan kalau mau menambah kecepatan atau memperlambat ada bunyi akibat kelonggaran. Ini bisa disebabkan oleh ausnya as *pinion* atau *specer*. Montir biasanya mengatasi dengan mengganti as baru dan memberi lapis lebih tebal pada *side gear*.
10. Mur pengancing *drive shaft* ini sering kurang diperhatikan. Tidak terlantas untuk memeriksa apakah masih terkancing dengan baik terutama pada mobil muatan. Kalau mur ini kendur akan mengakibatkan *drive shaft* bergerak maju dan mundur. Akibat dari gerakan ini maka terjadilah perubahan bidang singgungan pada *ring gear* dengan *drive shaft*. Mula- mula akan terjadi bunyi dengung dan suatu saat bahkan gigi- gigi di dalam *differential* bisa rontok. Sangat dianjurkan pada truck besar setiap 3 sampai 6 bulan memeriksa kekerasan mur ini dan setiap tahun pada kendaraan ringan. *Differential* yang terawat dengan baik bisa bertahan sampai lama dengan sendirinya tidak perlu menguras kantong Anda.