

KAJI EKSPERIMENTAL PENGARUH WAKTU PENAHANAN CAIR TERHADAP PEMBENTUKAN GRAFIT BULAT PADA PROSES PENGECORAN BESI COR NODULAR 700

Oleh:
R. Suratman¹ dan R. Widodo²

Ringkasan

Pembentukan grafit bulat pada Besi Cor Nodular dapat terjadi karena adanya unsur Mg sebanyak 0.02% - 0.05%, dimana unsur tersebut dipadukan kedalam besi cair (base iron) dalam bentuk senyawa FeSiMg, serta inti-inti pembentukan grafit bulat dari proses inokulasi.

Pada proses penuangan, terutama untuk produksi masal, Mg dalam cairan dan efek inokulasinya akan menurun (pudar) sehingga grafit yang terbentuk menjadi tidak bulat serta mengakibatkan penurunan sifat mekaniknya.

Tulisan ini membahas waktu maksimum penahan besi cair dalam ladle sehingga diperoleh sifat mekanik yang masih berada dalam batas yang diijinkan, melalui pengamatan terhadap pemudaran grafit bulat serta mampu tariknya terhadap besi cair yang telah dibubuhi unsur Mg dan dicor pada selang waktu setiap 2 menit.

Dengan mengacu kepada penurunan Mg, besi cair dapat dipertahankan sampai dengan 100 menit, dengan syarat kadar S maksimum harus 0.01% dengan temperatur penahanan diupayakan serendah mungkin tanpa mengabaikan temperatur penuangan yang diperlukan, dengan tinggi maksimum 1400 °C. Namun demikian mampu tarik akan menurun dan berada pada batas yang diijinkan hanya selama 24 menit, sebagai akibat dari pemudaran grafit yang dipengaruhi oleh penurunan efek inokulasi.

Abstract

Nodular graphite on iron casting can be formed because of the present of Mg element from 0.02% - 0.05%, which is alloyed with iron base material to form FeSiMg through inoculation effect. At the pouring stage, especially in continuous production, Mg in the melting fluid and its inoculation effect decrease so that the formed graphite will not round as expected and certainly weaken its mechanical properties.

This writing discuss the maximum holding time for the melting fluid in a ladle to assure acceptable mechanical properties, through experimental analysis of roundness of nodular graphite and tensile strength of the material by casting it in every 2 minutes right after adding the Mg element.

By referring to the decreasing Mg, iron fluid can be held up to 100 minutes, provided that the iron fluid contain maximum 0.01% Sulfur and maintained to the lowest holding temperature without ignoring pouring temperature standard for iron, maximum temperature in the ladle set 1400 °C. However, the tensile strength will be decreased to the acceptable value only up to 24 minutes, as a result of refraction of graphite that is affected by decreasing inoculation effect.

1. Pendahuluan.

Besi Cor Nodular adalah besi cor mutu tinggi yang merupakan modifikasi dari Besi Cor Kelabu sehingga memiliki sifat mekanik mendekati baja cor. Mampu tarik yang tinggi disertai elongasi yang besar merupakan sifat mekanik baja cor yang dapat dicapai oleh Besi Cor Nodular melalui proses pengecoran yang lebih mudah serta murah.

Sebagian besar unsur karbon (C) dalam Besi Cor Nodular akan membentuk grafit bulat, dengan syarat kandungan belerang (S) maksimum 0.01% dan magnesium (Mg) sebanyak 0.02% - 0.05%. Dengan demikian, bahan baku untuk pembuatan

Besi Cor Nodular harus dipilih dari jenis dengan kandungan S serendah-rendahnya.

Unsur Mg diberikan melalui suatu proses perlakuan Mg (Mg-treatment) kedalam besi cair pada saat kandungan S maksimum didalam besi cair sebesar 0.04%. Selanjutnya, agar diperoleh kualitas pembulatan serta jumlah grafit bulat yang baik, dilakukan proses inokulasi sebagai upaya untuk mengatur jenis maupun jumlah inti-inti pembentukan grafit bulat.

Untuk besi cair dengan kandungan S diatas 0.04%, sebelum dilakukan proses Mg-treatment, terlebih dahulu diterapkan proses desulfurisasi dengan cara membubuhkan batu kapur (CaCO₃) ataupun batu karbit (CaC₂). Jika proses

¹ Staf pengajar Jurusan Teknik Mesin ITB, Jl. Ganesa 10 Bandung. Telp/Fax: 022 250 22 65;
E-mail: r-suratman@lycos.com.

² Staf pengajar Jurusan Teknik Pengecoran Logam Polman Bandung, Jl. Kanayakan 21 Bandung.
Telp: 022 250 02 41, Fax: 022 250 26 49, E-mail: polman@melsa.net.id.

desulfurisasi tidak dilakukan, maka unsur Mg yang ditambahkan kedalam besi cair akan diikat menjadi MgS dan menjadi terak. Setelah proses desulfurisasi dilakukan, diharapkan kandungan S didalam besi cair berkisar antara 0.01% sampai dengan 0.02%.

Konsentrasi Mg didalam besi cair, atau disebut juga dengan "Sisa-Mg" (Mg-rest) akan menurun sebagai akibat dari terjadinya reaksi dengan sisa S, oksigen (O₂) serta silikon (Si) yang berasal dari bahan pelapis ladle (ladle-lining). Reaksi-reaksi tersebut berlangsung serentak dan kompleks serta dipengaruhi oleh:

- Mg-rest asal: Semakin tinggi mengakibatkan penurunan Mg semakin cepat.
- Temperatur besi cair: Semakin tinggi mengakibatkan penurunan Mg semakin cepat.
- Pembuangan terak: Semakin cepat dan sering mengakibatkan penurunan Mg semakin lambat.
- Bahan pelapis ladle: Jika kandungan silika (SiO₂) pada bahan pelapis ladle semakin tinggi maka penurunan Mg semakin cepat.

Dengan memperhatikan keempat parameter diatas serta perilaku Mg-rest didalam cairan, maka dapat dipastikan kecepatan penurunan konsentrasi Mg-rest akan berbeda-beda jika peralatan produksi Besi Cor Nodular yang digunakan berbeda.

Penurunan konsentrasi Mg-rest akan mengakibatkan pemudaran grafit bulat yang diikuti oleh turunnya mampu tarik material. Dengan demikian pada proses produksi Besi Cor Nodular secara masal, kontrol terhadap waktu serta temperatur penahanan besi cair harus dilakukan dengan cermat, sehingga penurunan mampu tarik material masih tetap berada dalam batas yang diijinkan.

2. Pengamatan terhadap pemudaran grafit bulat.

Untuk mengamati pengaruh kecepatan pengurangan Mg-rest terhadap pembulatan grafit, dipilih Besi Cor Nodular dengan mampu tarik 700 N/mm² (BCN 700) sebagai bahan penelitian. Tebal produk cor adalah antara 12 mm sampai 25 mm.

BCN 700 menurut ASTM A536-84 memiliki grade 100-70-03³, yang berarti: Material harus memiliki mampu tarik minimum 100 psi, batas elastisitas 70 psi dan elastisitas minimum 3%, dengan matriks perlit yang dapat dibuat tanpa proses perlakuan panas. Material ini merupakan kombinasi antara kekuatan (strength), kekakuan (toughness) dan ketahanan aus (wear resistance) yang sangat baik.

Proses penelitian dilakukan di Laboratorium Pengecoran Logam Polman Bandung dengan menggunakan Prosedur Operasi Standar (SOP)

³ Burdit Michael F; Ductile Iron Handbook. American Foundrymen's Society Inc. 1993.

yang telah baku di laboratorium tersebut untuk mencapai tujuan sebagai berikut:

- Mendapatkan selang harga Mg-rest yang masih memberikan efek pembulatan grafit memadai.
- Mendapatkan waktu penahanan cair sehingga efek pembulatan grafit masih optimum.

Komposisi BCN 700 dengan tebal produk antara 12 mm sampai 25 mm menurut Karsay Stephen I⁴ adalah sebagai berikut:

CE: 4.2%
C: 2.55%
Si: 2.75%
Mn: 0.4%
S: 0.02% (maks).
P: 0.01% (maks).
Mg: 0.04%

Data percobaan diperoleh dengan metode sebagai berikut:

- Untuk mendapatkan perubahan Mg-rest terhadap temperatur perlakuan (T-treatment) dan waktu penahanan, maka dilakukan analisa spektrometri terhadap benda uji yang dicor putih (chilled).
- Untuk mendapatkan perbedaan mampu tarik sebagai fungsi waktu penahanan, maka dilakukan uji tarik terhadap sampel sesuai dengan standar uji DIN 50 125.
- Untuk mendapatkan efek pembulatan grafit sebagai fungsi waktu penahanan, maka dilakukan pengamatan metalografi.

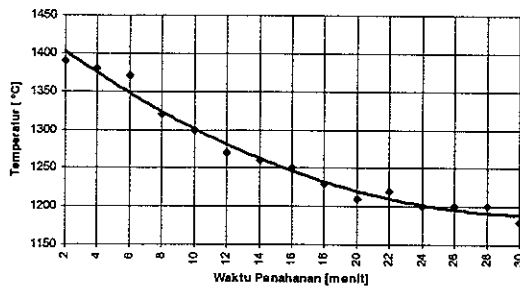
3. Data percobaan dan analisis.

Perlakuan Mg dilakukan pada temperatur 1500 °C, temperatur tersebut menurut Burdit Michael F³ merupakan temperatur ideal proses perlakuan Mg karena akan menghasilkan kekuatan reaksi Mg dalam mengikat kelebihan S maupun O₂ yang berada didalam besi cair secara optimum, tanpa mengakibatkan kehilangan Mg (Mg-loss) terlalu banyak. Disamping itu temperatur besi cair setelah perlakuan Mg masih cukup tinggi untuk kebutuhan pengecoran secara masal.

Gambar 1 menunjukkan penurunan temperatur sebagai akibat dari penahanan didalam ladle dimana temperatur 1400 °C merupakan temperatur maksimum besi cair didalam ladle sesaat setelah proses perlakuan Mg dan temperatur 1200 °C merupakan temperatur terendah sehingga besi cair masih memungkinkan untuk dicor kedalam cetakan. Pada rentang penurunan temperatur antara 1400 °C sampai 1200 °C, yang terjadi akibat penahanan selama 30 menit, konsentrasi Mg-rest masih memungkinkan untuk menghasilkan garafit bulat. Bila temperatur besi cair berada diatas 1400 °C, penahanan cair tidak dapat dilakukan untuk waktu yang lama karena laju penurunan Mg-rest

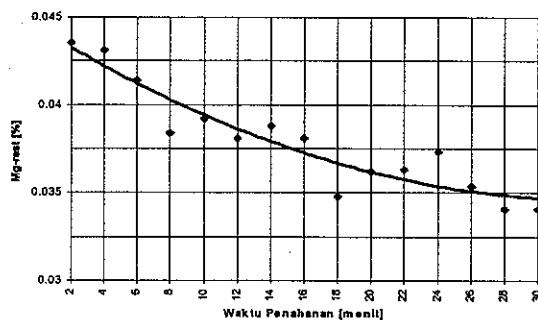
⁴ Karsay Stephen I; Gusseisen mit Kugelgrafit. QIT Fer et Titane Inc. 1976.

akan terlalu cepat. Dengan demikian besi cair tidak memungkinkan untuk dicor pada produk masal.



Gambar 1. Kurva penurunan temperatur vs waktu penahanan.

Gambar 2, 3 dan 4 menunjukkan penurunan Mg-rest dan S serta pemudaran grafit bulat akibat dari waktu penahanan didalam ladle. Sedangkan gambar 5 memperlihatkan penurunan mampu tarik sebagai fungsi dari waktu penahanan dan gambar 6 memperlihatkan pengaruh waktu penahanan terhadap jumlah grafit/mm².

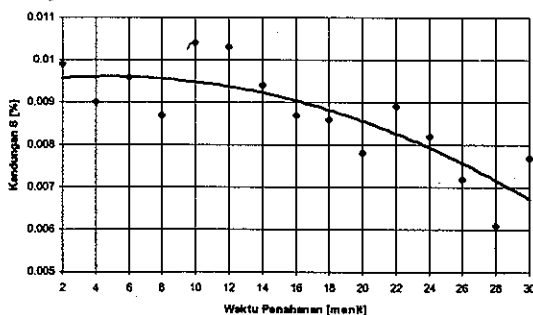


Gambar 2. Kurva Mg-rest vs waktu penahanan.

Dari gambar 2, tampak bahwa Mg-rest didalam besi cair selama penahanan panas menurun akibat bereaksi dengan S, O₂ dan bahan pelapis ladle berbasis silika sebagai berikut:

- $Mg + S \rightarrow MgS$.
- $2Mg + O_2 \rightarrow 2MgO$.
- $2Mg + SiO_2 \rightarrow Si + 2MgO$ dan
- $2MgS + SiO_2 \rightarrow Si + 2MgO + S$

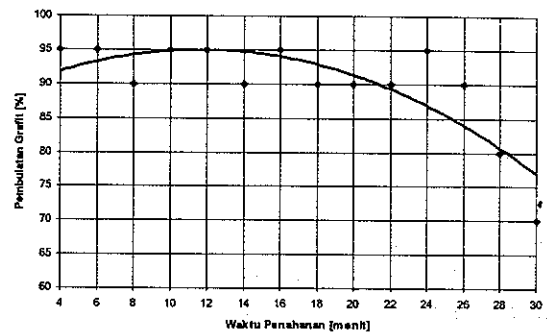
Selama 28 menit waktu penahanan (menit ke 2 sampai menit ke 30) terjadi penurunan Mg-rest sebanyak: $0.0435\% - 0.0341\% = 0.0094\%$.



Gambar 3. Kurva kandungan sulfur vs waktu penahanan.

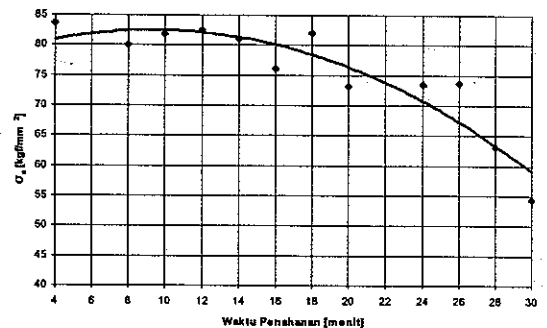
Dengan membandingkan gambar 2 dengan gambar 3, akibat reaksi-reaksi yang terjadi, tampak bahwa S bukan satu-satunya penyebab berkurangnya Mg-rest dari dalam besi cair. Kurva-kurva tersebut memperlihatkan bahwa penurunan Mg-rest terjadi lebih tajam bila dibandingkan dengan penurunan kandungan S. Hal ini membuktikan bahwa yang berkontribusi terhadap penurunan Mg-rest disamping belerang adalah:

- Adanya reaksi Mg-rest dengan oksigen didalam besi cair.
- Adanya reaksi Mg-rest dengan SiO₂ yang terdapat pada bahan pelapis ladle yang dipergunakan dalam percobaan.



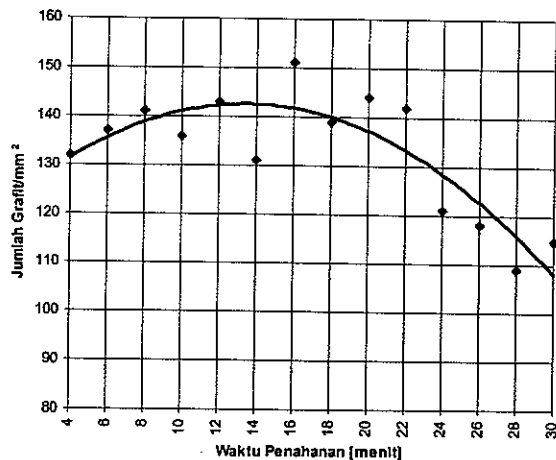
Gambar 4. Kurva pembulatan grafit vs waktu penahanan.

Dari kurva hasil pengujian tarik (gambar 5) dapat dilihat bahwa mampu tarik optimum ditemukan pada sampel yang diambil pada menit ke 8 sampai 12.



Gambar 5. Kurva mampu tarik vs waktu penahanan.

Fenomena yang sama ditunjukkan pula oleh hasil pengamatan metalografi (gambar 6 dan lampiran) dimana sampel-sampel tersebut juga memiliki pembulatan dan jumlah grafit bulat/mm² yang optimum pada menit ke 10 sampai 14. Perlu diketahui bahwa temperatur besi cair pada rentang waktu 8 sampai 14 menit berkisar antara 1300 °C – 1250 °C (gambar 2).



Gambar 6. Kurva jumlah grafit/mm² vs waktu penahanan.

Dengan demikian tampak adanya hubungan yang erat antara temperatur besi cair, mampu tarik dan pembulatan grafit, yaitu mampu tarik akan mencapai harga tertinggi bila pembulatan grafit mencapai persentase tinggi pula. Pada saat terjadi pembulatan grafit yang optimal, yaitu pada menit ke 10 sampai 14, pembulatan grafit mencapai 95% (tabel 1) dan Mg-rest yang terkandung didalam besi cair berkisar antara 0.038% – 0.039%.

no sampel	t (menit)	Mg-rest	S	Pembulatan [%]
33	2	0.0435	0.0099	sampel pecah
34	4	0.0431	0.009	
35	6	0.0414	0.0096	
36	8	0.0384	0.0087	90
37	10	0.0392	0.0104	95
38	12	0.0381	0.0103	95
39	14	0.0388	0.0094	90
40	16	0.0381	0.0087	95
41	18	0.0348	0.0086	90
42	20	0.0362	0.0078	90
43	22	0.0363	0.0089	90
44	24	0.0373	0.0082	95
45	26	0.0354	0.0072	90
46	28	0.0341	0.0061	80
47	30	0.0341	0.0077	70

Tabel 11. Mg-rest, S dan pembulatan grafit sebagai fungsi waktu penahanan.

Namun demikian mengingat persentase pembulatan maupun jumlah grafit bulat juga dipengaruhi oleh proses inoculasi, maka terjadi perbedaan saat tercapainya harga optimum mampu tarik dengan pembulatan grafit. Dimana mampu tarik justru telah mulai menunjukkan penurunan pada saat pembulatan grafit mencapai persentase optimum.

Hal ini disebabkan karena selain Mg-rest, efek inoculasi juga menurun dengan cepat dan berbeda-beda untuk setiap jenis inoculan maupun temperatur inoculasi. Penurunan efek inoculasi ini akan berakibat langsung terhadap penurunan jumlah grafit bulat (gambar 6 dan lampiran) serta berkaitan pula dengan penurunan mampu tarik.

4. Kesimpulan.

Berdasarkan data percobaan serta analisis dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Bila penurunan Mg-rest akibat penahanan cair selama 28 menit hanya 0.0094%, maka dengan asumsi pendinginan terjadi secara linier, serta mengingat konsentrasi Mg-rest yang dibutuhkan untuk pembulatan grafit adalah 0.02% – 0.05%, seharusnya besi cair dapat ditahan pada temperatur maksimum 1400 °C selama 100 menit.
- Penurunan pembulatan maupun jumlah grafit yang justru terjadi pada saat konsentrasi Mg-rest masih berada pada rentang yang diijinkan (0.025 – 0.05%) disebabkan oleh penurunan efek inoculasi.
- Pembulatan grafit optimum yang menghasilkan mampu tarik terbaik terjadi pada waktu penahanan ke 8 menit sampai 16 menit. Dengan demikian untuk waktu penahanan lebih lama dari rentang waktu tersebut perlu dilakukan inoculasi susulan.

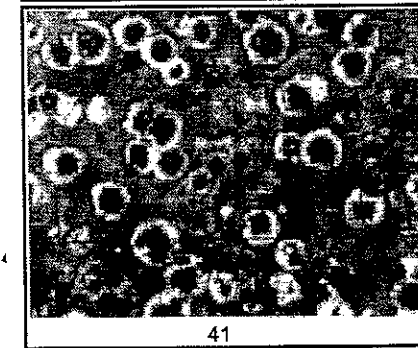
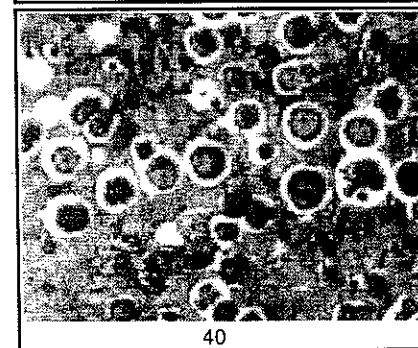
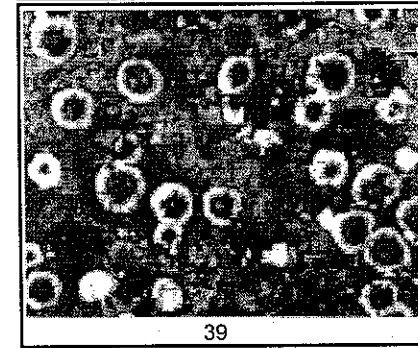
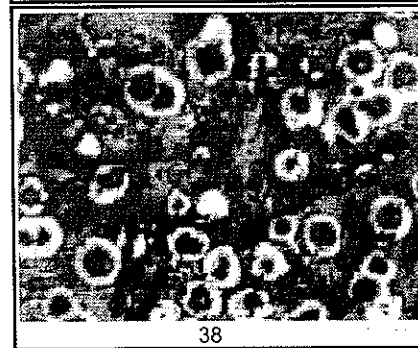
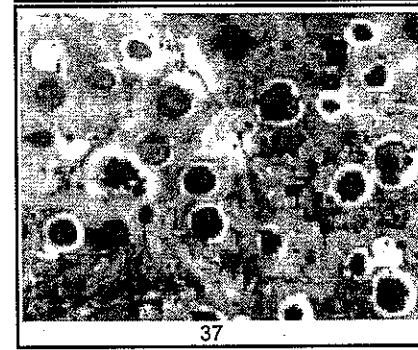
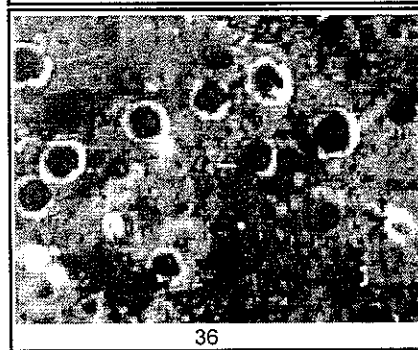
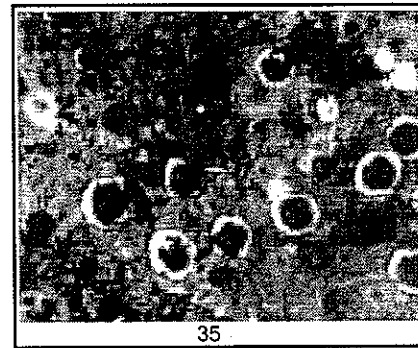
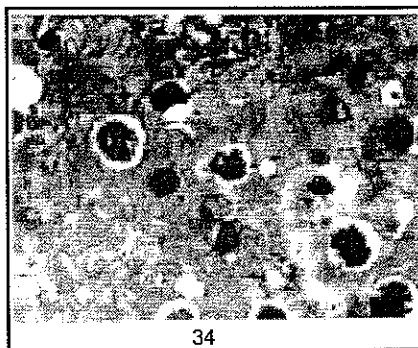
Referensi:

- Brunhuber E; *Taschenbuch der Giesserei-Praxis*. Fachverlag Schiele & Schoen GmbH – Berlin. 1986.
- Burdit Michael F; *Ductile Iron Handbook*. American Foundrymen's Society Inc. 1993.
- Karsay Stephen I; *Gusseisen mit Kugelgraphit, Grundlagen – Technologien*. QIT Fer et Titane Inc. 1976.
- Lux B. et al.; *The Metallurgy of Cast Iron*. Georgy Publishing switzerland. 1975.
- Petrus Widi Asmoro; *Pemilihan Inokulan Pada Pembuatan Besi Cor Nodular*. Tugas Sarjana jurusan Teknik mesin ITB. 1987.
- Schumann H; *Metallographie*. VEB Deutscherlag fuer Grundstoffindustrie. Leipzig. 1983.

LAMPIRAN 1

SAMPEL NOMOR 34 - 41

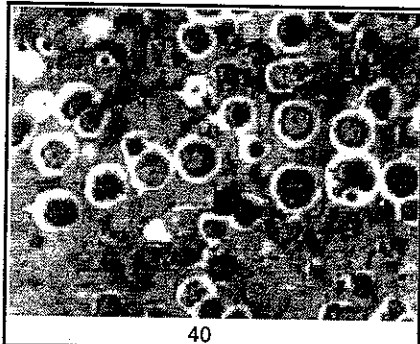
Pembesaran 100 x, Etsa Nital.



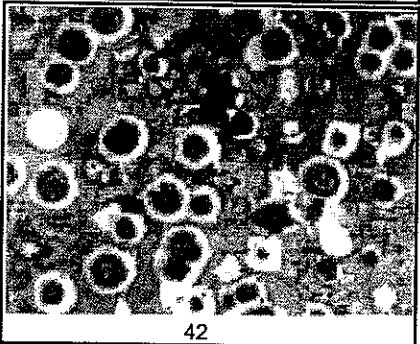
LAMPIRAN 2

SAMPEL NOMOR 40 - 47

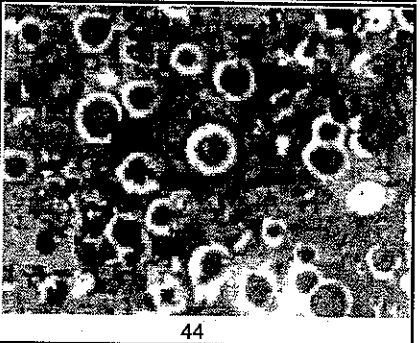
Pembesaran 100 x, Etsa Nital.



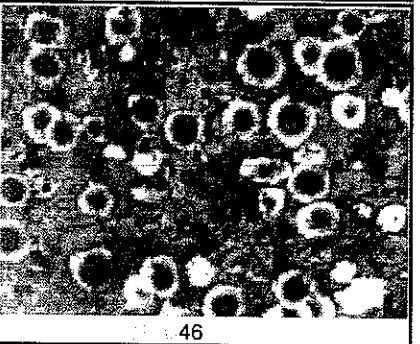
40



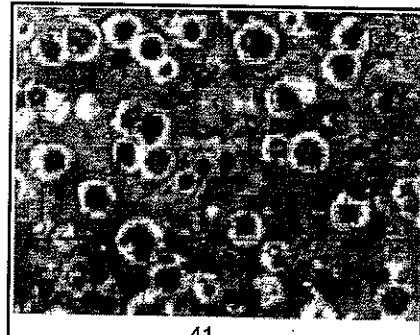
42



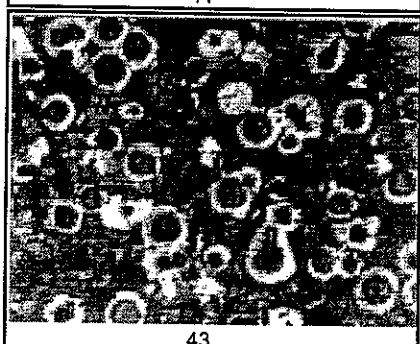
44



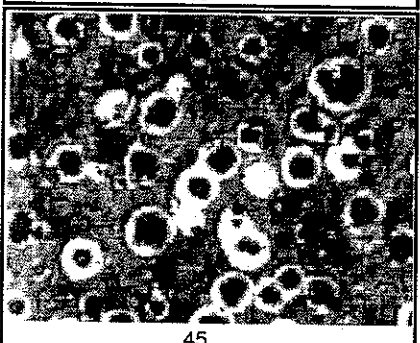
46



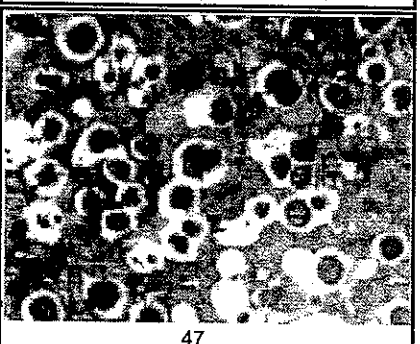
41



43



45



47