

SIFAT DAN PROSPEK PENGGUNAAN REFRIGERAN CAMPURAN

R 12 DAN R 22

Aryadi Suwono dan Amir Sambodo¹⁾

I. PENDAHULUAN

Diversifikasi dalam industri mesin pendingin dan pengkondisian udara menuntut untuk dikembangkan fluida kerja yang baru untuk disesuaikan dengan pemakaian yang khusus. Untuk memenuhi tuntutan tersebut, telah dilakukan berbagai penelitian terhadap kemungkinan penggunaan refrigeran campuran sebagai alternatif untuk meningkatkan performansi mesin-mesin pendingin.

Usaha untuk menggunakan refrigeran campuran dalam siklus refrigerasi telah dilakukan sejak tahun 1888 oleh Pictet⁽¹⁾. Ia merencanakan menggunakan campuran karbon dioksida dan sulphur dioksida sebagai fluida kerja mesin pendingin, dengan tujuan untuk mengurangi ukuran kompresor melalui pengurangan perbandingan kompresinya. Tetapi usaha awal untuk menerapkan refrigeran campuran tersebut tidak sepenuhnya didasarkan pada teori-teori termodinamika, sehingga akhirnya tidak berhasil menunjukkan performansi seperti yang diharapkan. Dalam tahun 1933 Stradelli⁽²⁾ menguji penggunaan dari campuran refrigeran di atas dan memperlihatkan bahwa untuk temperatur operasi yang sama, perbandingan kompresi akan meningkat seiring dengan penambahan karbon dioksida ke sulphur dioksida. Dalam tahun 1939 penelitian tentang campuran refrigeran dilanjutkan dengan kaji teoritik tentang keuntungan dari campuran-refrigeran yang mendidih dalam suatu daerah temperatur tertentu pada mesin pendingin non-isotermal. Maiuri⁽³⁾ mencoba menerapkan teori tersebut pada campuran ethylene dan metane namun menemui kegagalan. Carr⁽⁴⁾ dalam tahun 1949 menulis suatu kertas kerja yang didasari dengan pandangan dari sudut termodinamika kemungkinan untuk menghemat energi dengan mengambil keuntungan dari perubahan temperatur selama proses evaporasi.

Stoecker dan Walukas⁽⁵⁾ dalam review literturnya mengenai berbagai siklus refrigerasi telah mengungkapkan secara teoritik bahwa pemakaian campuran refrigeran R-12 dan R-114 memungkinkan untuk dapat menurunkan daya pada proses kompresi sebesar 12% tanpa merubah efek pendinginan yang berarti peningkatan KP (koefisien performansi) sebesar 12%. Semenjak itu berbagai kaji teoritik mengenai kemungkinan peningkatan KP mesin pendingin melalui penggunaan refrigeran

campuran telah digunakan untuk berbagai jenis refrigeran⁽⁶⁻⁹⁾. Meskipun dari segi teoritik dinilai layak, namun ternyata penerapan praktis masih terbatas, kecuali pada proses pencairan gas alam.

Suatu hambatan utama dalam penggunaan campuran refrigeran adalah sedikitnya data-data termodinamika yang tersedia. Data termodinamika eksperimental yang tersedia umumnya berupa tekanan uap dari campuran, sedangkan komposisi kesetimbangan fasa uap, enthalpi dan volume uap jenuh serta enthalpi dari cairan jenuh, kemudian dihitung dengan pertolongan data-data tekanan uap dari campuran dan sifat-sifat termodinamika refrigeran-tunggal⁽¹¹⁻¹³⁾. Refrigeran Campuran pada saat ini telah diakui mempunyai peluang yang baik untuk diterapkan. Beberapa campuran azeotropik Freon seperti R-500, R-501 dan R-502 telah menjadi populer. Campuran Freon non azeotropik tidak banyak mendapat perhatian dari industri-industri mesin pendingin terutama karena tidak tersedianya data-data termodinamika. Dalam tulisan ini akan dibahas aspek termodinamika dari refrigeran campuran. Pembahasan akan ditekankan pada campuran R-12 dan R-22. Tulisan ini juga akan merupakan landasan dari tulisan mendatang yang membahas hasil studi teori dan eksperimental dari penerapannya mesin pendingin.

2. KLASIFIKASI CAMPURAN

Campuran dapat diklasifikasikan secara umum dalam dua jenis yaitu campuran *miscible* (bercampur) dan campuran *imiscible* (tidak bercampur). Campuran *miscible* dapat juga berupa campuran ideal atau non-ideal. Campuran non-ideal dapat mempunyai deviasi positif atau deviasi negatif dari hukum Raoult, sebagaimana akan dijelaskan pada bagian selanjutnya.

Campuran non-ideal dapat juga membentuk campuran azeotrop. Azeotrop adalah campuran dengan temperatur pendidihan konstan. Azeotrop mungkin berupa azeotrop pendidihan minimum atau azeotrop pendidihan maksimum, tergantung apakah deviasi dari hukum Raoult positif atau negatif.

2.1. Campuran ideal

Hukum yang mengatur campuran ideal adalah hukum Raoult untuk fasa cairan dan hukum Dalton untuk fasa uap. Menurut hukum Raoult, tekanan

1) Laboratorium Teknik Pendingin dan Pengkondisian Udara, Jurusan Mesin ITB.

parsial dari dua komponen dalam campuran cairan pada temperatur, T diberikan oleh :

$$\begin{aligned} P_1 &= Y_1 P_1^0 \\ P_2 &= Y_2 P_2^0 \end{aligned} \quad (1)$$

Menurut hukum Dalton untuk fasa uap, tekanan parsial diberikan oleh :

$$\begin{aligned} P_1 &= YV_1 P_1 \\ P_2 &= YV_2 P_2 \end{aligned} \quad (2)$$

Tekanan total dapat ditentukan melalui persamaan :

$$P = Y_1 P_1^0 + Y_2 P_2^0 \quad (3)$$

Kriteria yang lain dari campuran ideal adalah bahwa pencampuran dari unsur-unsur pokok menyebabkan tidak ada perubahan dalam gaya-gaya inter molekuler rata-rata dari kejadian itu.

Sesuai dengan keadaan di atas, maka campuran ideal tidak akan timbul panas evolusi atau absorpsi selama proses pencampuran jadi enthalpi dari campuran ideal dapat diperoleh dengan menjumlahkan enthalpi-enthalpi dari kedua komponen tunggal pada temperatur dan tekanan campuran dalam perbandingan fraksi Mole, yaitu :

$$H_{lm} = Y_1 H_1 + Y_2 H_2 \quad (4)$$

2.2. Campuran non-ideal

Campuran non-ideal dapat dibedakan dari campuran ideal dalam dua hal, yaitu :

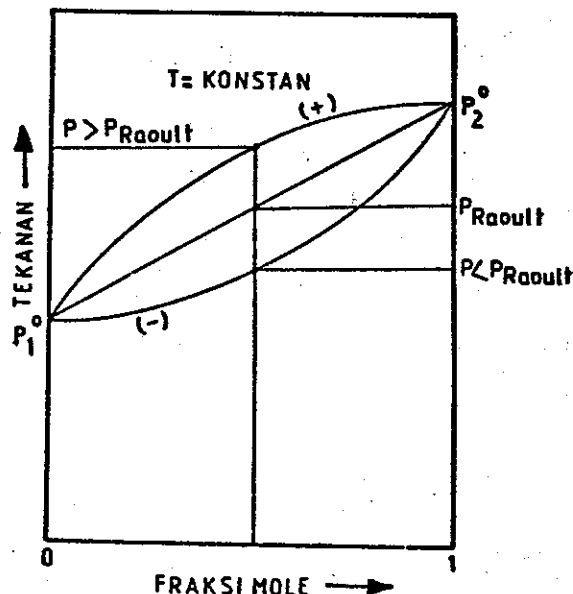
- Memperlihatkan suatu perubahan volume pada pencampuran fasa uap.
- Dalam fasa cair terjadi timbul panas absorpsi atau evolusi selama proses pencampuran.

Hal tersebutlah yang membuat terjadinya penyimpangan dari hukum Raoult. Campuran dengan penyimpangan positif dari hukum Raoult untuk temperatur dan fraksi mol yang sama menghasilkan tekanan uap yang lebih tinggi dari pada yang didapatkan dari penerapan hukum Raoult. Keadaan ini diperlihatkan oleh kurva (+) keadaan cairan jenuh dalam diagram P-Y Gb. 1. Kondisi yang sama juga diperlihatkan oleh kurva (+) pada diagram T-Y dalam Gb. 2.

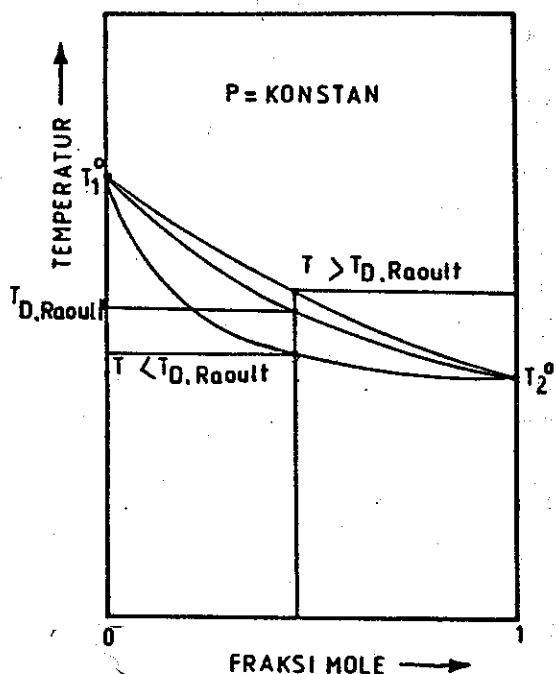
Pencampuran dari komponen-komponen yang membentuk campuran non-ideal, akan disertai dengan absorpsi panas. Oleh karena itu enthalpi dari campuran cairan akan lebih tinggi dibandingkan dengan enthalpi campuran yang didapatkan dengan penjumlahan dari enthalpi-enthalpi cairan dari kedua komponen dalam perbandingan fraksi mole.

Jadi enthalpi dari campuran non-ideal dalam fasa cairan dinyatakan oleh :

$$H_{lm} = Y_1 H_1 + Y_2 H_2 + H_m \quad (5)$$



Gambar 1. Penyimpangan titik didih dari hukum Raoult pada diagram P-Y.



Gambar 2. Penyimpangan titik didih dari hukum Raoult pada diagram T-Y.

Enthalpi dari campuran dalam fasa uap tidak berubah, yaitu sama dengan jumlah dari enthalpi-enthalpi komponen tunggal, hal ini membawa pengurangan dalam panas laten dari penguapan campuran.

Sebaliknya dari fenomena di atas, campuran dengan penyimpangan negatif dari hukum Raoult, akan mempunyai karakteristik sebagai berikut :

- Menghasilkan tekanan uap yang lebih rendah dari pada yang diberikan oleh hukum Raoult pada tekanan dan fraksi Mole tertentu. Hal ini diperlihatkan oleh kurva (—) pada Gb. 2.1.
- Temperatur titik didih dari campuran akan lebih tinggi pada tekanan dan temperatur tertentu seperti diperlihatkan oleh kurva (—) dalam Gb. 2.
- Pencampuran dari komponen-komponen menghasilkan evolusi panas. Enthalpi dari campuran cairan harus dikurangi panas pencampuran, berarti akan menghasilkan penambahan panas laten penguapan.

Contoh dari campuran yang mempunyai penyimpangan positif adalah campuran R-22 dan R-14, sedangkan sistem $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ adalah contoh dari campuran yang mempunyai penyimpangan negatif dari hukum Raoult⁽¹⁴⁾.

2.3. Campuran azeotropik

Seperti telah dikemukakan terdahulu, azeotrop adalah campuran non-ideal. Azeotrop umumnya dihasilkan jika perbedaan dalam titik didih dari kedua komponen tidak terlalu besar dan jika penyimpangan dari sifat-sifat ideal cukup besar. Sebagai contoh dari azeotrop yang mempunyai penyimpangan positif dari hukum Raoult adalah azeotrop R-22 dan R-12. Campuran azeotrop ini mempunyai titik didih atau titik embun yang lebih rendah dari titik didih tiap-tiap komponen, seperti diperlihatkan pada Gb. 3. Campuran azeotrop ini disebut azeotrop pendidihan minimum. Pada sisi yang lain, azeotrop dengan penyimpangan negatif dari hukum Raoult mempunyai titik didih yang lebih tinggi dari pada titik didih tiap-tiap komponen, seperti diperlihatkan pada Gb. 4. Campuran azeotrop ini disebut azeotrop pendidihan maksimum.

3. SIFAT-SIFAT TERMODINAMIKA CAMPURAN R-22 DAN R-12

Untuk meramalkan sifat-sifat termodinamika campuran refrigeran, diperlukan data refrigeran tunggal tiap komponen. Data-data ini dapat diambil dari pustaka (16, 17, 18 dan 19). Untuk tujuan penjabaran persamaan tingkat keadaan dari refrigeran campuran, data refrigeran tunggal untuk masing-

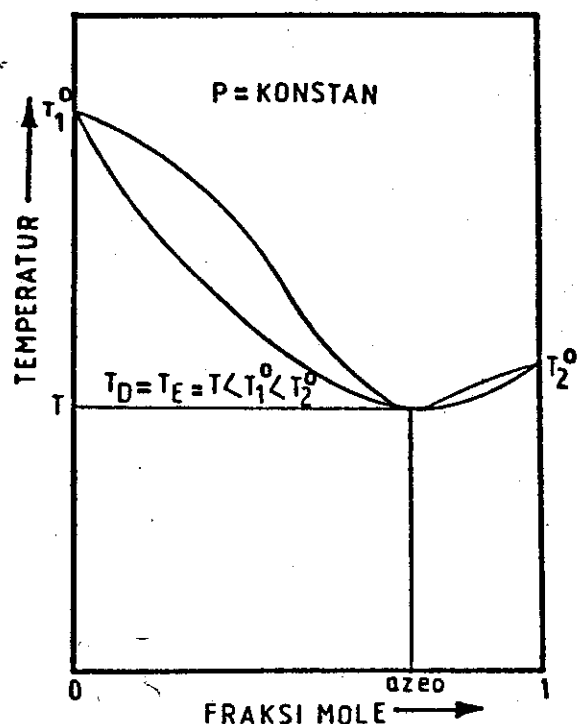
masing komponen akan dinyatakan dalam bentuk persamaan aljabar. Apabila data tersebut tersedia dalam bentuk persamaan, akan dipergunakan secara langsung. Dalam kasus data yang telah disajikan dalam bentuk tabel, persamaan aljabar yang memenuhi untuk suatu temperatur akan dibuat.

3.1. Persamaan tingkat keadaan fasa gas

Bijlani⁽²⁰⁾ telah memperlihatkan bahwa untuk refrigeran tunggal persamaan Martin-Hou yang disederhanakan dapat mengkorelasikan P-V-T dengan ketelitian yang cukup tinggi. Bentuk persamaan yang diusulkan adalah,

$$P = \frac{RT}{(V-b)} + \frac{A_2+B_2+C_2e^{kT/T_c}}{(V-b)^2} + \frac{A_3+B_3T}{(V-b)^3} + \frac{A_4+B_4+C_4e^{kT/T_c}}{(V-b)^4} \quad (6)$$

Dengan harga-harga dari konstanta $A_2, B_2, C_2, A_3, B_3, A_4, B_4, C_4, b$ dan k dari R-22 dan R-12 ditunjukkan dalam Tabel 1.



Gambar 3. Diagram campuran azeotrop pendidihan minimum.

Tabel 1. Konstanta persamaan Martin-Hou

Konstanta	R-22	R-12
A ₂	-5,108894 E+0	-3,714446 E+0
B ₂	3,202996 E-3	2,229788 E-3
C ₂	-3,641094 E+1	-2,819800 E+1
A ₃	1,495317 E-1	7,089601 E-2
B ₃	-1,243149 E-4	-4,475688 E-5
A ₄	-3,058400 E-3	-7,375492 E-4
B ₄	3,200155 E-6	5,622223 E-7
C ₄	3,043126 E-2	1,467384 E-2
b	3,128 E-3	3,458 E-3
k	-4,2	-5,0

3.2. Enthalpi cairan jenuh

Harga-harga enthalpi cairan jenuh untuk R-22 dan R-12 diambil dari pustaka (18), dan penulisan dalam bentuk aljabarnya disusun dengan metoda least square dalam bentuk fungsi polinomial derajat sebelas dan delapan sebagai fungsi dari (T-419, 67) pada daerah kisaran temperatur 360 sampai 660°R⁽⁷⁾:

$$H = \sum_{I=1}^n H(I) (T-419,67) \quad (7)$$

n = 11 untuk R = 22 dan n = 8 untuk R = 12

Dengan konstanta H (I) seperti ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Konstanta persamaan polinomial enthalpi cairan jenuh.

Konstanta	R-22	R-12
H(1)	2,5284399 E-1	2,1058947 E-1
H(2)	1,8028825 E-4	5,4887343 E-5
H(3)	3,4259758 E-7	1,5382998 E-7
H(4)	-3,5256820 E-9	-3,6692264 E-10
H(5)	-1,2304273 E-10	-3,3681939 E-12
H(6)	2,1294720 E-12	1,3294897 E-13
H(7)	8,0806707 E-15	-7,2100676 E-16
H(8)	-3,7145822 E-16	1,3565186 E-18
H(9)	2,9867823 E-18	
H(10)	-1,0118069 E-20	
H(11)	1,2818978 E-23	

3.3. Panas jenis cairan jenuh

Dengan cara serupa, harga-harga panas jenis cairan jenuh pada tekanan konstan untuk R-22 dan R-12 diambil dari pustaka (18). Dengan menggunakan metoda *least square* dengan fungsi polinomial derajat lima pada daerah 360° sampai 660°R didapat:

$$C_{p_l} = \sum_{I=1}^5 C(I) T^{(I-1)} \quad (8)$$

Konstanta C (I) ditabelkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Konstanta persamaan polinomial panas spesifik cairan jenuh.

Konstanta	R-22	R-12
C(1)	2,7861431 E+0	2,2021156 E+0
C(2)	-2,2971282 E-2	-1,8404225 E-2
C(3)	7,7565845 E-5	6,2756385 E-5
C(4)	-1,16068676 E-7	-9,4173491 E-8
C(5)	6,5654243 E-11	5,2904772 E-11

3.4. Analisa sifat-sifat Campuran Refrigeran

Persamaan Martin-Hou (pers. 3.1), dapat juga digunakan untuk menyatakan hubungan P-V-T dari campuran refrigeran.

Konstanta-konstanta pada persamaan ini didapat dengan mengkombinasikan konstanta-konstanta refrigeran tunggal yang disesuaikan. Aturan-aturan pengkombinasian ini diajukan oleh Bijlani⁽²⁰⁾ yang diuji kebenarannya oleh Quraishi⁽²¹⁾ untuk campuran refrigeran R-502 dan R-503. Hasil pengkajian menunjukkan bahwa persamaan tersebut juga berlaku untuk sistem biner R-22 dan R-12. Bila konstanta dalam persamaan (6), (7) dan (8) digunakan:

$$(A_2)_m = [X_1 (A_2)_1^{1/2} + X_2 (A_2)_2^{1/2}]^2 - 0,1 X_1 X_2$$

$$(B_2)_m = X_1 (B_2)_1 + X_2 (B_2)_2$$

$$(C_2)_m = [X_1 (C_2)_1^{1/2} + X_2 (C_2)_2^{1/2}]^2$$

$$(A_3)_m = [X_1 (A_3)_1^{1/3} + X_2 (A_3)_2^{1/3}]^3$$

$$(B_3)_m = [X_1 (B_3)_1^{1/3} + X_2 (B_3)_2^{1/3}]^3$$

$$(A_4)_m = [X_1 (A_4)_1^{1/3} + X_2 (A_4)_2^{1/3}]^3$$

$$(B_4)_m = [X_1 (B_4)_1^{1/3} + X_2 (B_4)_2^{1/3}]^3$$

$$(C_4)_m = [X_1 (C_4)_1^{1/3} + X_2 (C_4)_2^{1/3}]^3$$

$$(k/T_c)_m = Y_1 (k/T_c)_1 + Y_2 (k/T_c)_2$$

$$(b)_m = Y_1 (b)_1 + Y_2 (b)_2$$

3.5. Tekanan dan temperatur kesetimbangan kondisi jenuh.

Data tekanan uap refrigeran tunggal pada kondisi jenuh ditunjukkan oleh persamaan Antoine⁽²²⁾:

$$\ln(P) = A + B/(T-C) \quad (9)$$

Bijlani⁽²³⁾ telah menggunakan bentuk persamaan yang sama untuk menyatakan kurva titik didih dari

campuran R-22 dan R-12 untuk lingkup daerah tertentu. Dengan memakai data kesetimbangan tekanan, temperatur dan konsentrasi dari Kriebel⁽¹⁹⁾ dalam daerah temperatur yang lebih luas yaitu 380 sampai 600°R akan diterapkan prosedur yang sama untuk kurva titik didih dan titik embun dari campuran tersebut. Kurva titik didih dapat didekati dengan persamaan :

$$\ln (P_B) = BB_1 + BB_2/(T-CB) \quad (10)$$

sedangkan untuk titik embun :

$$\ln (P_D) = DD_1 + DD_2/(T-CD) \quad (11)$$

dimana konstanta BB_1 , BB_2 , DD_1 dan DD_2 dapat dinyatakan dalam fungsi polinomial dari konsentrasi, dan dapat ditulis sebagai,

$$BB_1 = \sum_{I=1}^6 B_1(I) Y^{(I-1)}$$

$$BB_2 = \sum_{I=1}^6 B_2(I) Y^{(I-1)}$$

$$DD_1 = \sum_{I=1}^6 D_1(I) Y^{(I-1)}$$

$$DD_2 = \sum_{I=1}^6 D_2(I) Y^{(I-1)}$$

Harga konstanta pada persamaan untuk BB_1 , BB_2 , DD_1 dan DD_2 harus dievaluasi berdasarkan konstanta CB dan CD. Kandlikar, Bijlani dan Sukhatme⁽⁷⁾ telah mencoba beberapa harga CB dan CD untuk setiap konsentrasi, dan dalam setiap kasus dihitung harga deviasi absolut yang terjadi dan ternyata untuk CB = CD = 35 deviasi absolut yang ditimbulkan adalah minimum (0,241% untuk kurva titik didih dan 0,52% untuk kurva titik embun). Dengan harga-harga CB dan CD ini, konstanta-konstanta yang lain telah dihitung dan hasil yang diperoleh adalah,

$B_1(1) = 1,22095352 \text{ E}+1$	$D_1(1) = 1,22097208 \text{ E}+1$
$B_1(2) = -1,22882463 \text{ E}+0$	$D_1(2) = -5,28703800 \text{ E}-1$
$B_1(3) = 6,21189084 \text{ E}+0$	$D_1(3) = 6,90830463 \text{ E}+0$
$B_1(4) = -1,01467610 \text{ E}+1$	$D_1(4) = -1,9969780 \text{ E}+1$
$B_1(5) = 6,91461772 \text{ E}+0$	$D_1(5) = 2,19836792 \text{ E}+1$
$B_1(6) = -1,36151186 \text{ E}+0$	$D_1(6) = -8,00690212 \text{ E}+0$

dan

$B_2(1) = -3,84123014 \text{ E}+3$	$D_2(1) = -3,84131226 \text{ E}+1$
$B_2(2) = 1,11635983 \text{ E}+3$	$D_2(2) = 4,45378468 \text{ E}+2$
$B_2(3) = -3,46853800 \text{ E}+3$	$D_2(3) = -3,17706719 \text{ E}+3$
$B_2(4) = 5,18083844 \text{ E}+3$	$D_2(4) = 1,01448365 \text{ E}+4$
$B_2(5) = -3,46692800 \text{ E}+3$	$D_2(5) = -1,17573686 \text{ E}+4$
$B_2(6) = 6,79394878 \text{ E}+2$	$D_2(6) = 4,38535765 \text{ E}+3$

3.6. Massa jenis campuran cairan jenuh

Perubahan volume masing-masing komponen pada proses pencampuran untuk campuran biner R-22 dan R-12 adalah sangat kecil seperti telah diukur oleh loeffler, dengan demikian pengabaian harga ini tidak akan mendatangkan kesalahan fatal, karena hasil pengukuran ternyata tidak lebih besar dari 1,5%. Juga pengaruh dari perubahan tekanan pada berat jenis cairan dapat diabaikan. Jadi volume refrigeran cairan jenuh pada temperatur konstan adalah sama dengan jumlah dari volume masing-masing komponen pembentuknya, dan massa jenis dari campuran cairan jenuh diberikan oleh :

$$\left(\frac{1}{\rho_{lm}} = \frac{X_1}{\rho_{l1}} = \frac{X_2}{\rho_{l2}} \right) T \quad (12)$$

3.7. Enthalpi dari campuran cairan jenuh

Enthalpi dari campuran cairan jenuh diberikan oleh :

$$(H_{lm} = X_1 H_{l1} + X_2 H_{l2} + H_{mix}) T \quad (13)$$

dimana, H_{mix} adalah panas pencampuran.

Berdasarkan persamaan Margules dan data panas pencampuran dari Neilson dan White⁽¹⁵⁾, Bijlani⁽²³⁾ mengembangkan persamaan panas pencampuran, dalam bentuk :

$$H_{mix} = -RT^2 \left[Y_1 \left(\frac{\partial \ln v_1}{\partial T} \right)_{Y_2} + Y_2 \left(\frac{\partial \ln v_2}{\partial T} \right)_{Y_1} \right] \quad (14)$$

$$\left(\frac{\partial \ln v_1}{\partial T} \right)_{Y_2} = Y_2^2 \left[2 \left(\frac{dL}{dT} \right) - \left(\frac{dK}{dT} \right) \right] + 2 Y_2^3 \left[\left(\frac{dK}{dT} \right) - \left(\frac{dL}{dT} \right) \right] \quad (15)$$

$$\left(\frac{\partial \ln v_1}{\partial T} \right)_{Y_1} = Y_1^2 \left[2 \left(\frac{dK}{dT} \right) - \left(\frac{dL}{dT} \right) \right] + 2 Y_1^3 \left[\left(\frac{dL}{dT} \right) - \left(\frac{dK}{dT} \right) \right] \quad (16)$$

dimana

$$K = -1,476 + 614,124899/T + 1,1604243 \times 10^{-3} T$$

$$L = 1,7888873 - 2,68544 \times 10^{-3} T$$

3.8. Enthalpi dari campuran uap jenuh

Variasi dari enthalpi untuk uap jenuh terhadap tekanan dan temperatur ditunjukkan oleh :

$$dH_{um} = C_{pm} (dT)_p + \left[V - T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p \right] (dP)_T \quad (17)$$

karena untuk fungsi variabel ganda terdapat hubungan matematis bahwa :

$$V(dP)_T = d(PV)_T - P(dV)_T$$

dan

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_P \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T = -1$$

maka persamaan (17) dapat ditulis kembali dalam bentuk :

$$dH_{vm} = C_{p,m}(dT)_P + d(PV)_T - P(dV)_T + T\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V(dV)_T \quad (18)$$

Panas jenis pada volume konstan gas ideal campuran, adalah penjumlahan harga-harga komponen tunggal dalam perbandingan fraksi massa, jadi :

$$C_{v,m}^* = X_1 C_{v_1}^* + X_2 C_{v_2}^* \quad (19)$$

$$C_{p,m}^* = C_v^* + R \quad (20)$$

Masukkan untuk P dan $\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$ dari persamaan (6) dan integrasikan persamaan (18) dari temperatur acuan dan tekanan nol ke beberapa harga temperatur T tekanan P dan volume V, dan ini akan memberikan,

$$\begin{aligned} H = & X_1(AE_1 T - \frac{BE_1}{T} + CE_1 \frac{T^2}{2} + DE_1 \frac{T^3}{3}) + \\ & X_2(AE_2 T + BE_2 \frac{T^2}{2} + CE_2 \frac{T^3}{3} + DE_2 \frac{T^4}{4}) + \\ & PV + \frac{A_2 + (1-UT)C_2 e^{UT}}{(V-b)} + \frac{A_3}{2(V-b)^2} + \\ & \frac{A_4 + (1-UT)C_4 e^{UT}}{3(V-b)^3} + XX \end{aligned} \quad (21)$$

dimana, $U = k/T_c$ dan $AE_1, BE_1, CE_1, DE_1, AE_2, BE_2, CE_2, DE_2$ adalah konstanta-konstanta persamaan polinomial panas jenis untuk masing-masing refrigeran tunggal.

Harga XX tergantung pada tingkat keasaan datum. Dalam kasus ini, enthalpi dari refrigeran cair murni pada $-40^\circ F$ diambil sama dengan nol. XX dievaluasi dengan menggunakan data panas laten penguapan dari Neilson dan White⁽¹⁵⁾ pada temperatur $-60,07^\circ F$:

$$H_{fg-60,07} = H_{v-60,07} - H_{lm-60,07}$$

$$\text{dan } (A_L/W)_m = H_{fg-60,07} \quad (22)$$

dimana, A_L adalah harga panas laten dalam Btu/lb

mole dari Neilson dan White⁽¹⁵⁾. Harga-harga ini disusun dengan metoda least square fungsi polinomial orde lima dari fraksi Mole R-22.

$$\text{Jadi : } A_L = \sum_{I=1}^6 A(I) Y^V(I-1) \quad (23)$$

Konstanta-konstanta $A(I)$ menjadi :

$$A(1) = 5,0298967 E+3$$

$$A(2) = -3,8362504 E+2$$

$$A(3) = -6,9372150 E+2$$

$$A(4) = -5,1693059 E+2$$

$$A(5) = 9,9005677 E+2$$

$$A(6) = 5,0924091 E+2$$

3.9. Panas jenis campuran cairan dan uap jenuh.

Dengan mengabaikan perubahan tekanan dan variasi panas pencampuran terhadap perubahan temperatur dan tekanan, panas jenis campuran cairan pada keadaan jenuh dapat dinyatakan dengan persamaan.

$$C_{p,lm} = X_1 C_{p_{li}} + X_2 C_{p_{l2}} \quad (24)$$

Penurunan persamaan enthalpi campuran uap pada keadaan jenuh pers. (21) terhadap temperatur pada tekanan konstan akan memberikan panas jenis pada tekanan konstan dari campuran uap pada keadaan jenuh. Bila penjabaran tersebut dilakukan akan diperoleh :

$$\begin{aligned} C_{p,vm} = & X_1 C_{v_1}^* + X_2 C_{v_2}^* + \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P \cdot \\ & \left(P - \frac{A_2 + (1-UT)C_2 e^{UT}}{(V-b)^2} - \frac{A_3}{(V-b)^3} - \right. \\ & \left. A_4 + \frac{(1-UT)C_4 e^{UT}}{(V-b)^4} \right) - \frac{U^2 T e^{UT}}{(V-b)} \\ & \left(C_2 + \frac{C_4}{3(V-b)^2}\right) \end{aligned} \quad (25)$$

dimana, $U = k/T_c$ dari $\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$ didapatkan dari persamaan (3.1)

3.10. Entropi campuran untuk kondisi jenuh.

Entropi dari campuran cairan pada keadaan jenuh dihitung dari entropi campuran uap jenuh dan enthalpi penguapan melalui persamaan,

$$S_{lm} = S_{vm} - H_{fg}/T_{av} \quad (26)$$

di mana T_{av} adalah temperatur rata-rata dari titik didih dan titik embun.

Untuk fasa uap jenuh, persamaan entropi dapat dijabarkan dari persamaan dasar

$$dS = C_v \left(\frac{dT}{T} \right)_V + \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V (dV)_T \quad (27)$$

dengan cara serupa seperti penurunan enthalpi, didapat

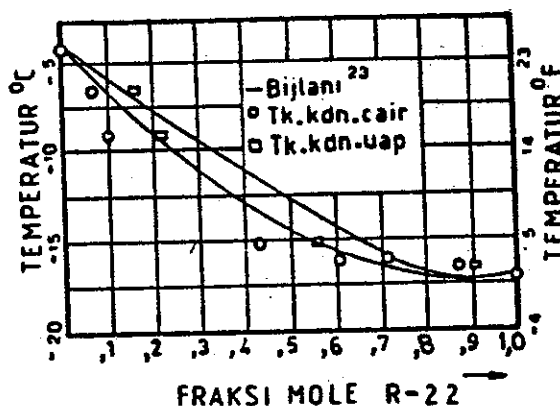
$$S_{um} = X_1 (AE_1 \ln(T) - \frac{BE_1}{2T^2} + CE_1 T + DE_1 \frac{T^2}{2}) + X_2 (AE_2 \ln(T) + BE_2 T + CE_2 \frac{T^2}{2} + DE_2 \frac{T^3}{3}) + R \ln(V-b) - \frac{B_2}{(V-b)} - \frac{B_3}{2(V-b)^2} - \frac{B_4}{3(V-b)^3} - \frac{U_e UT}{(V-b)} (C_2 + \frac{C_4}{3(V-b)^2} + \sqrt{YY}) \quad (28)$$

YY tergantung pada pemilihan tingkat keadaan acuan.

4. PENERAPAN PERSAMAAN TINGKAT KEADAAN

Persamaan tingkat keadaan yang dijabarkan dan dibahas dalam bagian terdahulu cukup lengkap untuk dapat dijadikan dasar dalam perhitungan dan perencanaan sistem pendingin siklus kompresi uap. Dalam makalah mendatang perhitungan tersebut akan dilakukan dan hasil-hasil yang penting, terutama yang berkaitan dengan pengaruh dari pencampuran refrigeran terhadap performansi sistem pendingin akan dibahas.

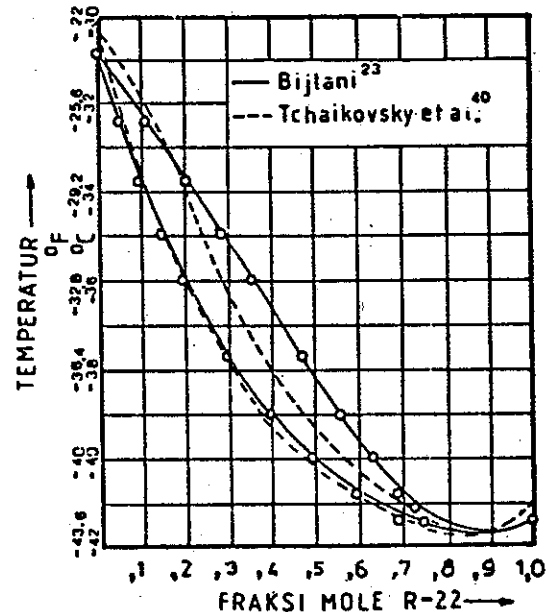
Untuk tujuan menyederhanakan perhitungan dan memberikan gambaran yang lebih kuantitatif dari refrigeran campuran, dalam Tabel 4 sampai dengan Tabel 9 ditunjukkan beberapa sifat termodinamika yang penting dari R-12 dan R-22. Tabel tersebut adalah hasil komputasi persamaan-per-



Gambar 3.2. Diagram temperatur-konsentrasi campuran R-22 dan R-12 untuk tekanan 39,8182 Psia.

samaan yang dibahas dalam bagian 3. Harga enthalpi dalam Tabel-tabel tersebut didasarkan pada temperatur acuan -40°F . Indeks D dan B dalam kolom tekanan adalah menyatakan masing-masing pengembunan dan pendidihan.

Kolom komposisi kesetimbangan uap menyatakan fraksi mol dari R-22 dalam campuran pada fasa uapnya.



Gambar 3.3. Diagram temperatur-konsentrasi campuran R-22 dan R-12 untuk tekanan 1,0 kg/cm²

5. KESIMPULAN

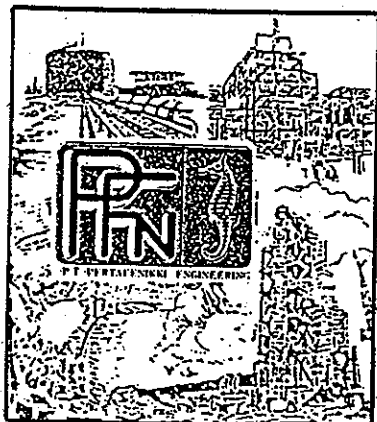
Dalam tulisan ini telah dijabarkan dan dibahas persamaan tingkat keadaan dari refrigeran campuran terutama campuran R-12 dan R-22. Persamaan tingkat keadaan yang dijabarkan dalam bentuk persamaan aljabar dihitung secara kuantitatif dan ditunjukkan dalam bentuk tabel untuk beberapa kondisi campuran.

Penerapan persamaan akan dibahas dalam makalah yang akan datang, dimana akan dikaji juga secara eksperimental sistem pendingin dengan menggunakan refrigeran campuran tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

1. Pictet, R., *Britanica Patent*, 12, 514.
2. Stradelli, A., *L'Industria*, Vol. 47, No. 2, 1933.
3. Maiuri, G., *Bulletin International Institute of Refrigeration*, Annex 8, 1939.
4. Carr, F., *Power Savings in Process Refrigeration*, Ind. Engr. Chem., Vol. 41, No. 4, 1949.
5. Stoecker, W.F., and Walukas, D.J., *Conserving Energy in Domestic Refrigerators through the use of Refrigerant Mixtures*, Report W-7405-eng-26, US DOE and UCE, 1981.

6. Schwind, H., *Über die verwendung Binäre Kaltemittel Gemische unteren Darstellung im Entalpie, Druck Diagram*, Kältetechnik, 4, 14, pp. 98-104, 1962.
7. Kandlikar, S.G., Bijlani, C.A., and Sukhatme, S.P., *Predicting the Properties of Mixtures of R-22 and R-12 Part I Thermodynamic Properties*, ASHRAE Trans., Vo. 81, Part I, pp. 266-284, 1975.
8. Tschakovsky, V.F., and Kutznetsov, A.P., *Utilization of Refrigerant Mixture in Refrigeration Compression Machines*, XI Intern. Congress of Refrigeration, Munich, 1963.
9. Jakobs, R. and Kruse, H., *The Use of Non-azeotropic Refrigerant Mixtures in Heat Pumps for Energy Savings*, Meeting of Commission B2, International Institute of Refrigeration, Delf, Sept. 12-15, 1978.
10. Rojey, A., Meyer C., Choffe, B. Jacq, J., Asselineau, L., and Vidal, J., *Heat Pump Operating with a Fluid Mixture*, Seminar on New Ways to Save Energy, Brussel, Oct. 23-25, 1979.
11. Spauchus, H.O., *Vapor Pressure of Mixtures of Refrigerants 12 and 22*, ASHRAE Journal, 4, 49, 1949.
12. Modinabeitia, D., *The Effect of Pressure and Temperature on Azeotropic Composition in the R-22 and R-12 Binary System*, Thesis Univ. of Dalware, Juni 1960.
13. Whipple, G.H., *Vapor Liquid Equilibria of Some Fluorinated Hydrocarbon System*, Ind. Engr, Chem., 44, 1644, 1952.
14. Arora, C.P., *Refrigeration and Air Conditioning*, Tata Mc Graw Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 1983.
15. Neilson, E.F., and White, D., *Heat of Vapourization and Solution of Binary Mixture of Fluorocarbons*, J. Phys. Chem., 63, 1363, 1959.
16. Du Pont de Nemours and Co., *Thermodynamic Properties of Freon-22*, 1964.
17. Du Pont de Nemours and Co., *Thermodynamic Properties of Freon-12*, 1956.
18. ASHRAE Handbook, of Fundamentals, 1972.
19. Kriebel, M., *Phase Equilibrium between Liquid and Vapor in the Binary System of Difluoromonochloromethane - Difluorodichloromethane*, Doctoral Dissertation, D 83, Berlin, 1966.
20. Bijlani, C.A., *Pressure - Volume - Temperature Relationships of Binary Mixtures of Refrigerants*, Proceedings, 13 th., Cong. of Refrigeration, Washington 1971.
21. Quraishi, R.A., *Predicting the Pressure - Volume - Temperature Behavior of Binary Mixture of Fluorocarbons*, M. Tech. Dissertation, Indian Institute of Technology, Bombay, 1972.
22. Saluja, S.N., *Use of Mixed Refrigerants in Vapor Compression Refrigeration Machines*, Refrig. and Air Cond., Vol. 81, Part I, Jan. 1978, pp. 27-34, Part II, Feb. 1978, pp. 32-35, and Part III, Mar. 1978, pp. 80-83.
23. Bijlani, C.A., *Thermodynamic Properties and Refrigeration Characteristics of Binary Mixtures of Freon-12 and Freon-22*, Doctoral Thesis, Indian Institute of Technology, Bombay, 1967.
24. Loeffler, H.J., *Some Properties of the Binary System Freon-12 - Freon-22 and Napthenic Mineral Oil*, Annexe, International Institute of Refrigeration, 143, 1960-61.
25. Amir Sambodo, *Pengembangan Pemakaian campuran refrigeran non azeotropik untuk meningkatkan performansi mesin pendingin*, Tesis Sarjana Mesin ITB, 1985.



P.T. PERTAFENIKKI ENGINEERING

A Pertamina Joint Venture, PMA

- CONSULTANT
- ENGINEERING
- PROCUREMENT
- CONSTRUCTION

Specializing in oil, Gas and Petrochemical Plants and Facilities

HEAD OFFICE :

9 TH FLOOR JAYA BUILDING 12, JL. MH. THAMRIN - JAKARTA PUSAT - INDONESIA

PHONE : 323156-334014-334037 (OPERATOR), 327290 (DIRECTORS)

Tabel 4. Sifat-sifat termodinamika campuran R-22 dan R-12
Fraksi Mol R-22 = 0,0 (R-12 murni)

Temperatur °F	Tekanan Psia	Volume ft ³	Massa jenis lb/ft ³	Enthalpi * Btu/lb		Panas spesifik Btu/lb °F		Entropi Btu/lb °R		Komposisi Kesetimbang- an uap **
		Uap	Cairan	Cairan	Uap	Cairan	Uap	Cairan	Uap	
-50	7,08	5,0189	95,62	-2,101	71,809	0,210	0,128	-0,00507	0,17534	0,0
-40	9,24	3,9191	94,66	0,000	72,945	0,212	0,130	0,00000	0,17382	0,0
-30	11,90	3,0981	93,69	2,112	74,078	0,213	0,133	0,00496	0,17245	0,0
-20	15,14	2,4767	92,70	4,235	75,206	0,215	0,135	0,00982	0,17124	0,0
-10	19,03	2,0004	91,69	6,371	76,326	0,216	0,138	0,01459	0,17016	0,0
0	23,67	1,6311	90,66	8,520	77,436	0,218	0,140	0,01927	0,16920	0,0
10	29,15	1,3415	89,61	10,684	78,534	0,219	0,143	0,02387	0,16834	0,0
20	35,56	1,1121	88,53	12,863	79,617	0,221	0,146	0,02841	0,16757	0,0
30	43,00	0,9288	87,43	15,059	80,684	0,222	0,149	0,03287	0,16689	0,0
40	51,57	0,7808	86,30	17,273	81,731	0,224	0,152	0,03728	0,16628	0,0
50	61,38	0,6605	85,14	19,508	82,757	0,226	0,156	0,04163	0,16573	0,0
60	72,54	0,5618	83,95	21,766	83,757	0,228	0,159	0,04594	0,16523	0,0
70	85,14	0,4803	82,72	24,050	84,729	0,230	0,163	0,05022	0,16478	0,0
80	99,30	0,4126	81,45	26,364	85,670	0,233	0,167	0,05446	0,16436	0,0
90	115,13	0,3558	80,15	28,712	86,575	0,237	0,172	0,05869	0,16396	0,0
100	132,73	0,3080	78,79	31,100	87,441	0,241	0,177	0,06291	0,16358	0,0

Tabel 5 Sifat-sifat termodinamika campuran R-22 dan R-12
Fraksi Mol R-22 = 0,2.

Temperatur °F	Tekanan Psia		Volume ft ³ /lb	Massa jenis lb/ft ³	Enthalpi Btu/lb		Panas spesifik Btu/lb °F		Entropi Btu/lb °R		Komposisi kesetim- bangan uap
	TD	TB	Uap	Cairan	Cairan	Uap	Cairan	Uap	Cairan	Uap	
-50	9,31	7,92	4,7498	94,55	-0,997	75,782	0,218	0,130	-0,00362	0,18616	0,388
-40	11,82	10,32	3,7147	93,59	1,177	76,917	0,219	0,132	0,00165	0,18441	0,383
-30	15,10	13,27	2,9406	92,61	3,345	78,046	0,221	0,135	0,00681	0,18283	0,378
-20	19,06	16,85	2,3538	91,61	5,529	79,167	0,223	0,137	0,01187	0,18141	0,373
-10	23,79	21,15	1,9034	90,59	7,729	80,277	0,224	0,140	0,01685	0,18012	0,368
0	29,39	26,27	1,5536	89,55	9,946	81,375	0,226	0,143	0,02173	0,17896	0,363
10	35,95	32,30	1,2790	88,49	12,180	82,458	0,227	0,146	0,02655	0,17791	0,358
20	43,58	39,35	1,0613	87,41	14,432	83,523	0,229	0,149	0,03128	0,17696	0,353
30	52,39	47,52	0,8870	86,29	16,705	84,568	0,231	0,152	0,03596	0,17609	0,348
40	62,47	56,93	0,7463	85,15	18,998	85,590	0,233	0,156	0,04057	0,17530	0,343
50	73,95	67,68	0,6317	83,98	21,316	86,587	0,235	0,159	0,04514	0,17457	0,338
60	86,94	79,89	0,5376	82,77	23,660	87,555	0,237	0,163	0,04966	0,17389	0,333
70	101,53	93,67	0,4599	81,53	26,034	88,491	0,240	0,168	0,05414	0,17326	0,323
80	117,85	109,14	0,3951	80,25	28,440	89,392	0,243	0,172	0,05860	0,17267	0,323
90	136,00	126,41	0,3409	78,92	30,882	90,252	0,247	0,177	0,06303	0,17210	0,319
100	156,09	145,60	0,2952	77,54	33,366	91,069	0,252	0,183	0,06746	0,17154	0,314

Tabel 6 Sifat-sifat termodinamika campuran R-22 dan R-12
Fraksi Mol R-22 = 0,4

Temperatur °F	Tekanan Psia		Volume ft ³ /lb	Massa jenis lb/ft ³	Enthalpi Btu/lb		Panas spesifik Btu/lb°F		Entropi Btu/lb°R		Komposisi kesetim- bangan uap
	TD	TB			Cairan	Uap	Cairan	Uap	Cairan	Uap	
-50	10,49	9,23	4,3270	93,38	-0,312	80,534	0,226	0,132	-0,00200	0,19766	0,546
-40	13,56	11,99	3,3910	92,41	1,935	81,661	0,228	0,134	0,00349	0,19566	0,544
-30	17,30	15,38	2,6894	91,42	4,202	82,777	0,230	0,137	0,00887	0,19384	0,541
-20	21,82	19,49	2,1564	90,41	6,488	83,882	0,231	0,140	0,01417	0,19218	0,539
-10	27,20	24,41	1,7464	89,38	8,796	84,972	0,233	0,143	0,01937	0,19067	0,537
0	33,56	30,25	1,4274	88,34	11,125	86,045	0,235	0,146	0,02450	0,18928	0,534
10	41,00	37,12	1,1765	87,26	13,476	87,098	0,237	0,149	0,02955	0,18801	0,532
20	49,65	45,13	0,9772	86,17	15,849	88,128	0,239	0,153	0,03453	0,18683	0,530
30	59,63	54,41	0,8174	85,04	18,246	89,133	0,241	0,156	0,03945	0,18574	0,528
40	71,04	65,06	0,6881	83,89	20,670	90,109	0,243	0,160	0,04431	0,18473	0,525
50	84,01	77,22	0,5827	82,71	23,122	91,053	0,245	0,165	0,04913	0,18378	0,523
60	98,67	91,00	0,4961	81,49	25,605	91,962	0,248	0,169	0,05390	0,18289	0,521
70	115,14	106,53	0,4244	80,23	28,121	92,832	0,251	0,174	0,05864	0,18203	0,518
80	133,53	123,94	0,3647	78,93	30,673	93,658	0,255	0,180	0,06335	0,18121	0,516
90	153,97	143,35	0,3145	77,58	33,265	94,436	0,259	0,186	0,06805	0,18041	0,514
100	176,58	164,87	0,2722	76,18	35,902	95,161	0,264	0,193	0,07272	0,17961	0,511

Tabel 7 Sifat-sifat termodinamika campuran R-22 dan R-12
Fraksi Mol R-22 = 0,6

Temperatur °F	Tekanan Psia		Volume ft ³ /lb	Massa jenis lb/ft ³	Enthalpi Btu/lb		Panas spesifik Btu/lb°F		Entropi Btu/lb°R		Komposisi kesetim- bangan uap
	TD	TB			Cairan	Uap	Cairan	Uap	Cairan	Uap	
-50	11,45	10,95	3,8838	92,08	-0,230	85,803	0,236	0,135	-0,00112	0,20976	0,671
-40	14,80	14,16	3,0564	91,10	2,128	86,916	0,238	0,137	0,00463	0,20752	0,671
-30	18,89	18,08	2,4334	90,10	4,512	88,016	0,240	0,140	0,01029	0,20546	0,671
-20	23,81	22,80	1,9581	89,08	6,921	89,099	0,241	0,143	0,01585	0,20357	0,672
-10	29,68	28,44	1,5911	88,05	9,357	90,163	0,243	0,146	0,02134	0,20183	0,672
0	36,61	35,11	1,3044	86,99	11,819	91,205	0,245	0,150	0,02674	0,20021	0,672
10	44,73	42,93	1,0782	85,91	14,308	92,222	0,247	0,153	0,03208	0,19872	0,672
20	54,16	52,01	0,8978	84,80	16,825	93,211	0,250	0,157	0,03735	0,19732	0,673
30	65,03	62,48	0,7528	83,67	19,370	94,168	0,252	0,162	0,04255	0,19601	0,673
40	77,46	74,47	0,6351	82,50	21,947	95,091	0,254	0,166	0,04771	0,19478	0,673
50	91,60	88,11	0,5389	81,31	24,558	95,977	0,257	0,171	0,05282	0,19361	0,674
60	107,57	103,53	0,4596	80,07	27,205	96,820	0,260	0,176	0,05789	0,19249	0,674
70	125,51	120,85	0,3937	78,80	29,890	97,617	0,264	0,182	0,06292	0,19142	0,674
80	145,55	140,21	0,3387	77,48	32,615	98,363	0,268	0,189	0,06793	0,19037	0,674
90	167,81	161,73	0,2925	76,12	35,384	99,052	0,273	0,196	0,07292	0,18933	0,675
100	192,44	185,55	0,2533	74,69	38,203	99,678	0,278	0,204	0,07789	0,18830	0,675

Tabel 8. Sifat-sifat termodinamika campuran R-22 dan R-12
Fraksi Mol R-22 = 0,8

Temperatur °F	Tekanan Psia		Volume ft ³ /lb	Massa jenis lb/ft ³	Enthalpi Btu/lb		Panas spesifik Btu/lb °F		Entropi Btu/lb °R		Komposisi kesetimbangan uap
	TD	TB	Uap	Cairan	Cairan	Uap	Cairan	Uap	Cairan	Uap	
-50	11,98	11,97	3,8081	90,63	-0,898	91,630	0,247	0,137	-0,00227	0,22360	0,807
-40	15,48	15,48	2,9973	89,64	1,567	92,740	0,249	0,140	0,00372	0,22100	0,812
-30	19,80	19,75	2,3866	88,63	4,056	93,833	0,251	0,143	0,00961	0,21860	0,816
-20	24,98	24,91	1,9206	87,61	6,578	94,905	0,253	0,146	0,01543	0,21638	0,819
-10	31,16	31,06	1,5606	86,56	9,131	95,953	0,255	0,150	0,02117	0,21431	0,821
0	38,48	38,32	1,2793	85,49	11,717	96,975	0,257	0,153	0,02683	0,21239	0,822
10	47,05	46,05	1,0573	84,40	14,335	97,967	0,260	0,157	0,03243	0,21059	0,823
20	57,02	56,73	0,8803	83,29	16,985	98,925	0,262	0,162	0,03797	0,20889	0,824
30	68,51	68,13	0,7379	82,14	19,669	99,846	0,265	0,166	0,04344	0,20729	0,825
40	81,67	81,18	0,6223	80,97	22,390	100,727	0,267	0,171	0,04887	0,20576	0,826
50	96,65	96,02	0,5278	79,76	25,150	101,563	0,271	0,177	0,05426	0,20430	0,826
60	113,58	112,79	0,4499	78,51	27,952	102,350	0,274	0,183	0,05961	0,20290	0,827
70	132,60	131,63	0,3852	77,22	30,796	103,083	0,278	0,189	0,06492	0,20153	0,827
80	153,86	152,68	0,3311	75,89	33,686	103,757	0,283	0,197	0,07021	0,20019	0,827
90	177,50	176,07	0,2857	74,50	36,622	104,364	0,288	0,205	0,07548	0,19886	0,827
100	203,67	201,95	0,2472	73,05	39,612	104,899	0,295	0,215	0,08074	0,19753	0,828

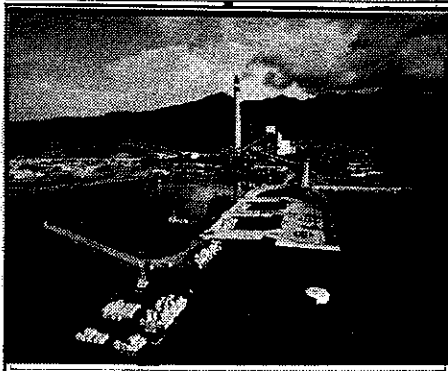
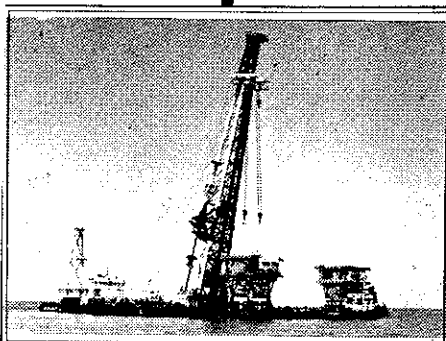
Tabel 9. Sifat-sifat termodinamika campuran R-22 dan R-12
Fraksi Mol R-22 = 1,0 (R-22 murni)

Temperatur °F	Tekanan Psia	Volume ft ³	Massa jenis lb/ft ³	Enthalpi * Btu/lb		Panas spesifik Btu/lb °F		Entropi Btu/lb °R		Komposisi Keseimbangan uap **
		Uap	Cairan	Cairan	Uap	Cairan	Uap	Cairan	Uap	
-50	11,66	4,2302	89,00	-2,511	98,870	0,260	0,140	-0,00605	0,24142	1,000
-40	15,18	3,3080	88,01	0,000	99,996	0,262	0,142	0,00000	0,23827	1,000
-30	19,50	2,6178	86,99	2,547	101,101	0,264	0,145	0,00598	0,23535	1,000
-20	24,74	2,0943	85,96	5,131	102,183	0,266	0,149	0,01189	0,23263	1,000
-10	31,02	1,6923	84,90	7,753	103,236	0,269	0,152	0,01774	0,23008	1,000
0	38,50	1,3799	83,82	10,411	104,259	0,271	0,156	0,02353	0,22769	1,000
10	47,30	1,1346	82,72	13,105	105,246	0,274	0,160	0,02926	0,22544	1,000
20	57,57	0,9400	81,60	15,836	106,194	0,276	0,165	0,03493	0,22330	1,000
30	69,48	0,7842	80,44	18,606	107,099	0,279	0,169	0,04055	0,22127	1,000
40	83,17	0,6583	79,25	21,417	107,956	0,283	0,175	0,04614	0,21933	1,000
50	98,81	0,5558	78,03	24,272	108,760	0,286	0,181	0,05169	0,21746	1,000
60	116,55	0,4717	76,77	27,173	109,506	0,290	0,187	0,05721	0,21564	1,000
70	136,57	0,4021	75,47	30,121	110,189	0,295	0,194	0,06271	0,21387	1,000
80	159,03	0,3442	74,12	33,117	110,800	0,300	0,202	0,06818	0,21212	1,000
90	184,08	0,2956	72,71	36,164	111,333	0,307	0,212	0,07364	0,21039	1,000
100	211,90	0,2546	71,23	39,267	111,778	0,314	0,222	0,07909	0,20865	1,000



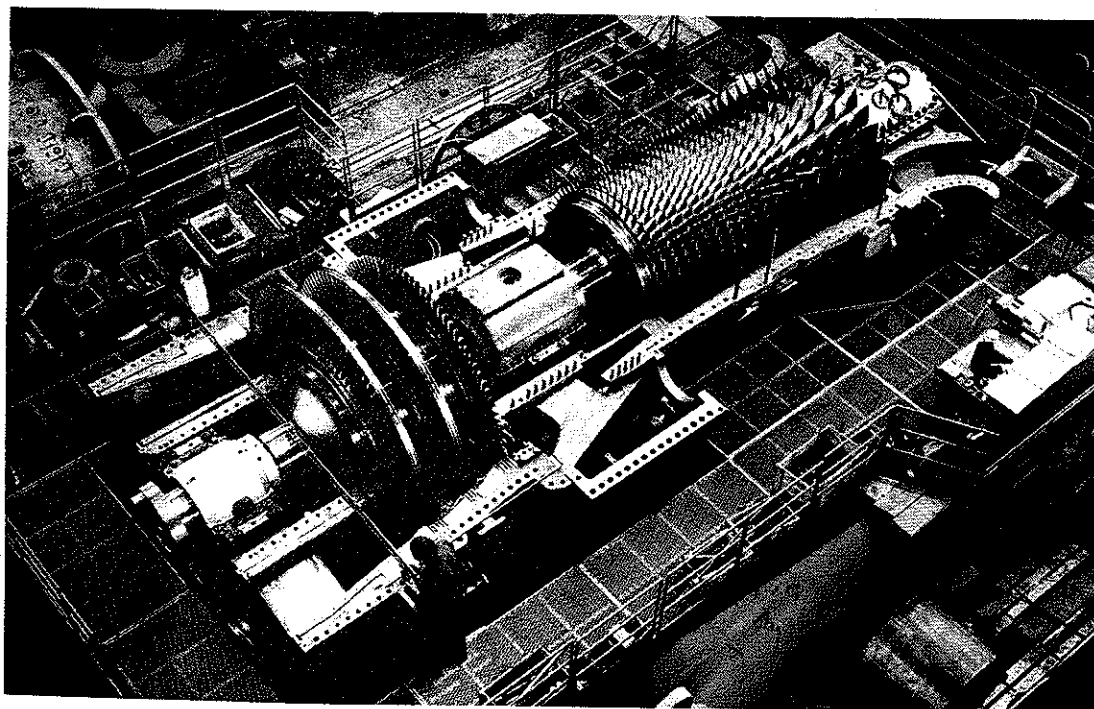
P.T. JAYA SUMPILES INDONESIA

Jl. K.H. Zainul Arifin 33C-D-E, P.O. BOX 3273, Jakarta
Telp. 356-007, 356-796, 356-607
354-342, 359-763, 355-908, 355-909
Telex : 46423 HARUYOIA - Cable: SUMPILES



LEADING CIVIL ENGINEERING CONTRACTORS SPECIALIZING IN :

1. Foundation Engineering
2. Bored piling
3. Proprietary plucky piling
4. Prestressed concrete piling
5. Steel H section piling
6. Large diameter bored piling
7. Sheet piling
8. Reinforced concrete piling
9. Pipe piling
10. Building construction
11. Steel fabrication
12. Retaining wall structures
13. Sanitary & sewage installation
14. Soil protection & consolidation
15. Road & bridges
16. Marine structures
17. Piers & jetties
18. Dolphins & walkways
19. Wharves & loading docks
20. Navigation aids
21. L.N.G. loading docks
22. Harbour works
23. Canals
24. Dredging
25. Dikes
26. Construction equipment rental
27. Ready mix concrete supply



PT. LESTARI JAYA UTAMA
Jln. Iskandarsyah Raya No. 1
Phone : 714219
Telex : 47570 PL IA
Kebayoran Baru, Jakarta 12160.

**ALSTHOM
ATLANTIQUE**

large turbine generators
gas turbines

Agent for : Alsthom Services, Alsthom Gas Turbine Spare parts & After Sales Service, PLN Supplier and Engineering.

ASURANSI MINYAK DAN GAS BUMI

Operasi Pencarian, Produksi dan Pengolahan Minyak dan Gas Bumi mempunyai bahaya-bahaya dan risiko yang cukup besar.

Minyak dan Gas Bumi merupakan bahan yang mudah terbakar atau meledak. Seperti pengeboran minyak dan gas, baik di darat maupun dilepas pantai dimana peledakan dan semburan liar sering terjadi yang dapat mengakibatkan kerugian jiwa maupun materiel dan juga polusi.

Kilang-kilang Refinery, Petrokimia dan Pencairan Gas Alam/LNG merupakan investasi modal dan teknologi yang sangat besar.

Produksi dan penghasilannya mempunyai peranan yang penting dalam pembangunan maupun ketahanan negara kita.

Juga proyek-proyek besar yang dibangun, dimana kerugian karena banjir, tanah longsor, gempa bumi, kebakaran bahkan mungkin design yang kurang sempurna maupun bahaya-bahaya lain selama proyek itu dibangun.

Pabrik-pabrik atau kilang-kilang dapat dirugikan karena kerusakan-kerusakan mesin yang tak terduga. Operasi dari armada kapal maupun armada penerbangan mungkin juga mengalami musibah seperti ini.

Keberhasilan proyek atau operasi produksi, dimana kerugian atau kecelakaan merupakan kerugian yang tidak terduga, yang tidak tepat dianggarkan sebelumnya memerlukan back up biaya perbaikan kembali proyek atau penggantian sarana-sarana produksi maupun kerugian operasi-operasi itu.

Asuransi merupakan sarana bantu dalam melindungi kepentingan-kepentingan operasi itu.

P.T. Tugu Pratama Indonesia memegang peranan penting dalam melindungi operasi besar dan vital ini dalam ruang lingkupnya.

**P.T. TUGU PRATAMA INDONESIA DIDIRIKAN
PADA TANGGAL 25 NOVEMBER 1981**

**DENGAN SAHAM :
PERTAMINA 65%
P.T. NUSAMBA 35%**

**PEMEGANG SAHAM DIANTARANYA ADALAH :
YAYASAN DHARMA BHAKTI SOSIAL (YAYASAN DHARMAIS)
YAYASAN INI ANTARA LAIN
MEMBANTU MENYOKONG RUMAH YATIM PIATU
DAN RUMAH JOMPO**

**YAYASAN SUPER SEMAR
YAYASAN INI ANTARA LAIN BERGERAK
DALAM PEMBINAAN BEA SISWA
PADA PELAJAR DAN MAHASISWA**



P.T. TUGU PRATAMA INDONESIA

(Tugu Pratama Indonesia Insurance Co. Ltd.)

**Gedung Patra Lantai 1 Jl. Gatot Subroto Kav. 32-34 Jakarta - Selatan
Phones: 512041 - 512293 Telex: 44699 GUTAMA IA 45337 GUTAMA IA**

D J A R U M

Bravo



Rasanya mantap-berani, yang berpadu
dengan penampilan yang gagah, bergaya.

 **DIARLIM**
kretek cigarettes

ISTANA MOTOR



JL. KOPO 246, TELP. (022) 613503 - 614536 BANDUNG
 JL. H.Z. MUSTOFA No. 323, TELP. (0265) 21585 TASIKMALAYA
 JL. LETJEN SUWARTO No. 83, TELP. 327 BANJAR



P.T. PUPUK KALIMANTAN TIMUR

(P E R S E R O)



KANTOR PUSAT DAN PUSAT PRODUKSI : BONTANG UTARA — KALIMANTAN TIMUR
 TELP. 372077, TELEX 46843 — KALTIM
 KANTOR PERWAKILAN JAKARTA : GEDUNG CIK'S JL. CIKINI RAYA 84-86 JAKARTA PUSAT
 P.O. BOX : 301 TELP : 325333 - 326902 - 323779 - 325408 - 323631



SUZUKI MOBIL PLAZA SUPRATMAN MOTOR

JL. SUPRATMAN NO. 46 TELP. 71721
 JL. KIARACONDONG NO. 388
 B A N D U N G

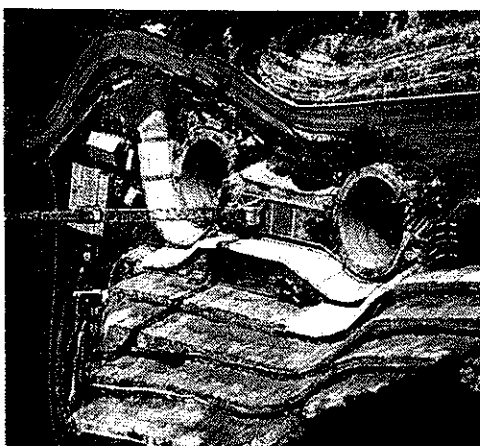


KAROSERI — SUMBER MULYA AERA
 — SIE SING FACTORI AERA
 — NEW ARMADA AERA



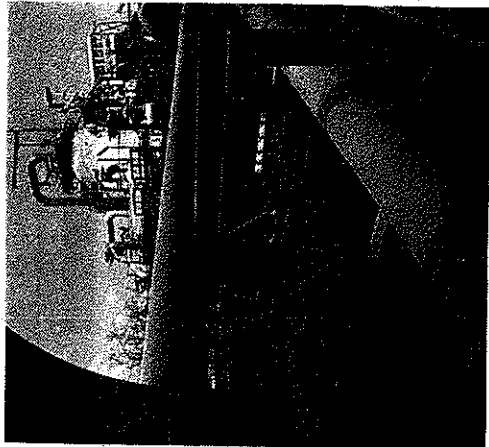
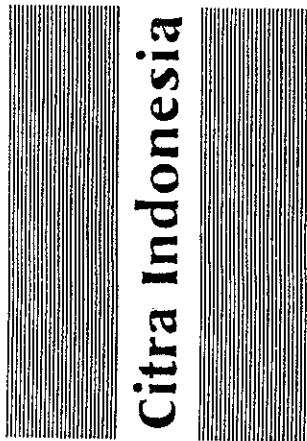
P.T. ISTANA BANDUNG RAYA MOTOR
 RUANG PAMER — PUSAT SUKU CADANG — BENGKEL PEMELIHARAAN
 JL. CICENDO NO. 18 TELP. 52411 — 52412 BANDUNG





□ CIVIL ENGINEERING
AND CONSTRUCTION
DIVISION

□ ELECTRICAL
AND NUCLEAR POWER
DIVISION



□ OIL AND GAS
DIVISION

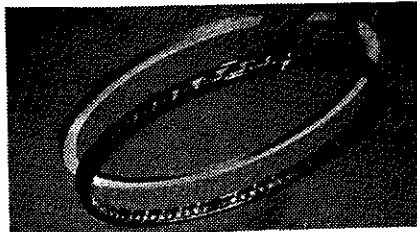
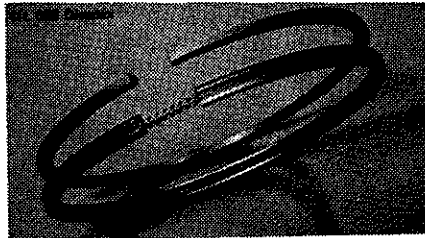
□ PROCESS ENGINEERING
AND GENERAL CONTRACTING
DIVISION

PT Citra Indonesia
13th Floor, Arthaloka Bldg.
Jl. Jend. Sudirman 2 Jakarta P.O. Box 2701
Tel. 583287 Telex : 44474 Citra IA



P.T. BANINUSA INDONESIA

PRODUSEN PISTON RING PERTAMA DI INDONESIA



MUTU PRODUKSI TERJAMIN SESUAI SII 0924

Pabrik :
Jl. Industri 15
Phone 611705 - 614797

Kantor Pemasaran :
Grand Floor
Sabang Metropolitan Hotel
11. Jl. H. Agus Salim
Jakarta
Phone 354031-39 ext. 282
Direct 354441



PT. ALPHA AUSTENITE

Head Office:
Industrial Estate Pulogadung
Jl. Rawagelam III/5. Kav. II L/10
Phone : 483208

P.O. Box : 021/JNG. Telex: 48290 TIRAU IA. Cable: AUSTENITE JAKARTA

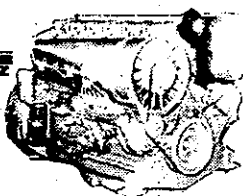
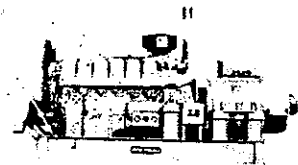
Banker : The Chase Manhattan Bank Algemene Bank Nederland
European Asian Bank Bank Bumi Daya

MANUFACTURERS OF :

- 1) CONTINUOUS AND CENTRIFUGAL CASTED BRONZE IN SOLID AND HOLLOW BAR.
LICENCY FRAZER N CO NEW ZEALAND.
- 2) HIGH ALLOYED MAINTENANCE AND REPAIR WELDING ELECTRODES
LICENCY MESSER GRIESHEIM GMBH WEST GERMANY.
- 3) TOOL AND DIE SHOP PRODUCING PLASTIC MOULD, EXTRUSION DIES, SHEAR BLADES, CANE CUTTERS, CHIPPER KNIVES, PUNCHES UTILIZING QUALITY SWEDISH STEEL AND EXCELLENT HEAT TREATMENT FACILITY



POLYBAU



AvK



DISTRIBUTORS :

MERCEDES GENERATING SETS, PERKINS, FORD,
DEUTZ ENGINE, ALTERNATOR STAMFORD, AVK.



Teknik Unggul
TECHNICAL SUPPLY

Jl. Hayam Wuruk No. 78-A, Jakarta - Indonesia.
Telp. 631752, 638079, 630654, 637045, Telex : 41303 T. UGUL IA.

HONDA PARTS CENTRE

SEPEDA  MOTOR

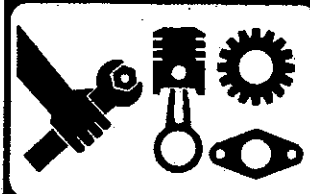
PUSAT PENJUALAN
SUKU CADANG ASLI

HONDA

MUTU TERJAMIN

PT Daya Adira Mustika

Jl. Gardujati 56, tel. 51062 - Bdg.



BENGKEL RESMI HONDA

• CEPAT & SEMPURNA •

BERHADIAH

SETIAP PEMBELIAN ATAU
PERBAIKAN Rp 5000.-
MENDAPAT HADIAH LANGSUNG

HONDA SERVICE CENTRE

INOTEK

P.T. INOVASI TEKNIK

Technical & Engineering Service

- Project Management
- Inspection
- Engineering Design
- Fire Protection System
- Recruitment : Expatriates
& Indonesian

OFFICE : Irti Building Lt. 4 Room 401
Komp. Taman Ria Monas
Jl. Medan Merdeka Selatan
Jakarta

TELEPHONE : 346630, 347485

TELEX : 46197 IRTI IA



ABDUL MUIS MOTOR

SUB DEALER

SUZUKI & Mazda

Jl. PUNGKUR 91 TELP. 52956 BANDUNG

Jl. CIMANUK 236 TELP. 81387 GARUT



Tersedia bermacam-macam kendaraan



SUZUKI SWIFT



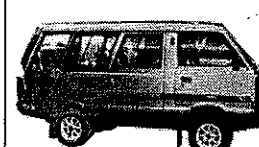
MAZDA 626 GLX



SUZUKI SUPER JIMNY 75



SUZUKI PICK UP
modifikasi

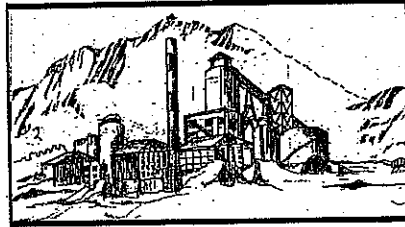


SUZUKI MINI BUS

Melayani; KREDIT dan TUKAR TAMBAH
MINGGU BUKA



P.T. JAYASTEEL INDONESIA



FABRIKATOR KONSTRUKSI BAJA

berdiri sejak tahun 1970
dengan pengalaman untuk pembangunan

- PABRIK
- PERGUDANGAN
- GEDUNG BERTINGKAT
- JEMBATAN
- MENARA
- HANGGAR
- CONVEYOR

alamat : Jl. Parangtritis 2-3 Ancol Barat - Jakarta
telpun : 672138
telex : J11 45520 PT JAYA JKT 48244



ANGGOTA PEMBANGUNAN JAYA GRUP



CV. CHAMPION MOTOR

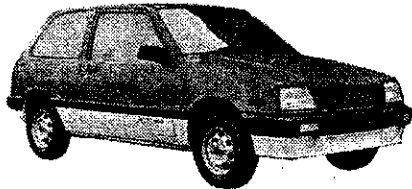


JL. OTO ISKANDARDINATA 172 TELP. 58392 - 56909

JL. RAYA CIMINDI 173 TELP. 611786 - 612877 BANDUNG

MAIN DEALER / DEALER UTAMA

**PENJUALAN MOBIL MERK SUZUKI UNTUK DAERAH PRIANGAN,
MEMPERKENALKAN produk terbaru SUZUKI.**

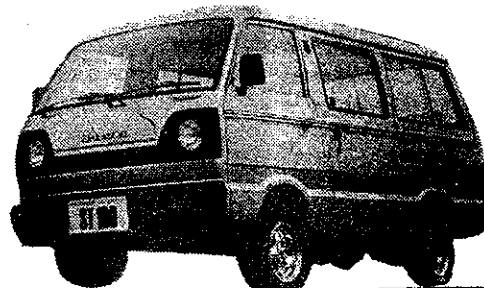


SUZUKI *SWIFT* SEDAN
Bentuk Kompak Interior Lapang



SUZUKI *SUPER JIMNY V3*
Sosok Kemegahan Jiwa Muda

***SUPER CARRY* ST 100 MINI BUS**
Lebih luas • Paling stabil • Raja dikelasnya
IDAMAN KELUARGA MASA KINI
TERSEDIA :
Segala macam karoseri
model terakhir





PT. MEGA ELTRA Cabang Bandung
Tlp. 59360 — 56064 Tlx. 28548 ME.BD.
Jalan Suniaraja No. 139 — 141 Bandung

I. JASA KONTRAKTOR.

- Bangunan Gedung & Pabrik
- Perpipaan
- Telekomunikasi
- Elektrikal.

II. PERDAGANGAN / SUPPLIER.

- Alat-alat Kesehatan dan KEDOKTERAN serta LAB/FARMASI
- Bahan-bahan Bangunan
- Alat-alat Teknik & Listrik
- Alat-alat Telekomunikasi, Navigasi, Elektronika
- Sarana/Prasarana Pemadam Kebakaran
- Peralatan/suku cadang Kereta Api.



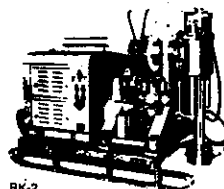
SOLE AGENT IN INDONESIA

P.T. JATIFIC

JAKARTA SCIENTIFIC
J. SATU TULIS DUA JAKARTA—PUSAT
35132-35175 TELEK 4548 JTF
INDONESIA CABLE JASCIENTIFIC

SPINDLE TYPE CORE DRILLS

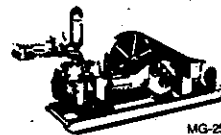
ROCKY Series	RK-2	RK-3A
	450 (BO)	500 (NO)



RK-2

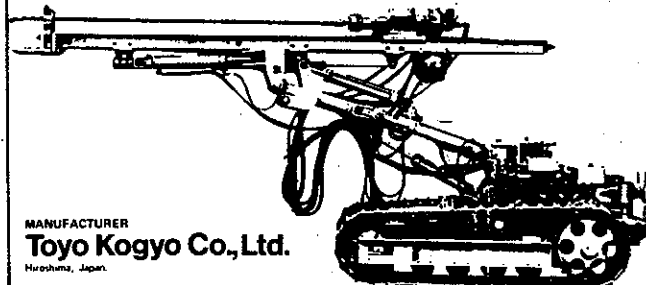
KOKEN BORING MACHINE CO., LTD.
Cable Address KOKENBORING TOKYO

**GROUTING and
DRILLING PUMPS (MG Series)**



MG-25

**New on the market! TYCD-120 CRAWLER DRILL
with wider functions**

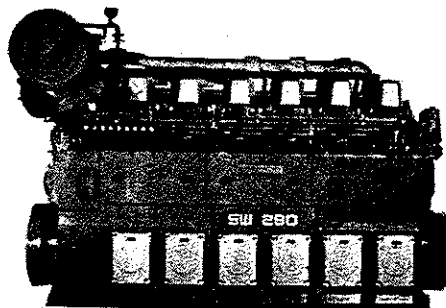


MANUFACTURER
Toyo Kogyo Co., Ltd.
Nagahama, Japan.

If you look for
reability & simplicity
You have no other
choice, except.....

SWDIESEL

Stork-Werkspoor Diesel bv



Type:	DR 210	:	340	—	860 HP AT 750 RPM
	F 240	:	1.350	—	2.000 HP AT 1.000 RPM
	SW 280	:	2.000	—	5.000 HP AT 1.000 RPM
	TM 410	:	4.800	—	15.000 HP AT 600 RPM
	TM 620	:	11.000	—	33.000 HP AT 425 RPM

For further information please contact:



P.T. STOWINDO POWER

SALES, SERVICE, WORKSHOP & SPAREPARTS

JAKARTA: HEAD OFFICE
Cilandak Commercial Estate
Building 201—Jakarta Selatan.

P.O. Box: 108 KBY
Phone: 781081—08.4
Telex: 47465

MEDAN
Jalan Nibung Raya No.2
Phone: 24383

SURABAYA
Jalan Ngagel Jaya Utara No. 51
Phone: 60 981



BERCA INDONESIA

Jl. Abdul Muis 62, Jakarta. Phone: 373009. Telex: 46748 BERSAL IA.
Jl. Kutal 11, Surabaya. Phone: 68172. Telex: 31146 BERSAL SB.
Jl. Darat 73A, Medan. Phone: 516312, 511462.

SOLE AGENT FOR:



Cleaver Brooks Boiler



Ruston Gas Turbine



Johns - Manville
insulation materials



Ruston, Dorman Diesels

Honeywell Fire Alarm System



Hewlett Packard Computers, measuring,
analytical and medical instruments

Yamatake
Honeywell Process Control



John Brown Gas Turbine

BANK PEMBANGUNAN DAERAH JAWA BARAT

Jl. Braga 12, telp. 57016 – 57017 – 58081 – 58132 – 59364 Bandung

Telex : 28379, alamat kawat : BPD JABAR, Kotak Pos : 356

Kantor-kantor cabang : di seluruh Daerah Tingkat II di Jawa Barat.

Kegiatan Usaha : Antara lain Pemegang Kas Daerah Pemerintah DT. I dan DT. II, Bank Pelaksana KIK/KMKP, TABANAS/TASKA, Giro, Deposito, Inkaso dan Kiriman Uang.

TINGKAT BUNGA DEPOSITO MULAI TANGGAL 1 NOPEMBER 1984

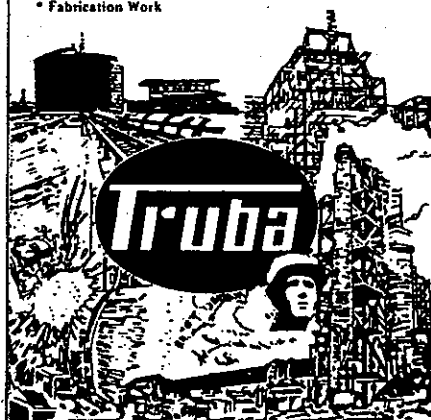
- 1 bulan	: 15,30 % per tahun
- 3 bulan	: 17,10 % per tahun
- 6 bulan	: 19,20 % per tahun
- 12 bulan	: 20,40 % per tahun
- 24 bulan	: 21,40 % per tahun

Untuk segala urusan Perbankan anda, hubungilah kantor kami dan cabang-cabangnya disetiap daerah tingkat II di Jawa Barat.

TRUBA GROUP OF ENGINEERING COMPANIES

A Group of companies providing a complete range of services for the industrial plants construction

- services incl :
- Mechanical Erection Work
 - Electrical Installation Work
 - Plant Civil Work
 - Fabrication Work



**PT. TRUBA JATIPURNA
ENGINEERING**
(CIVIL WORK)

**PT. TRUBA JURONG
ENGINEERING**
(MECHANICAL ERECTION WORK)

PT. CILEGON FABRICATORS
(FABRICATION WORK)

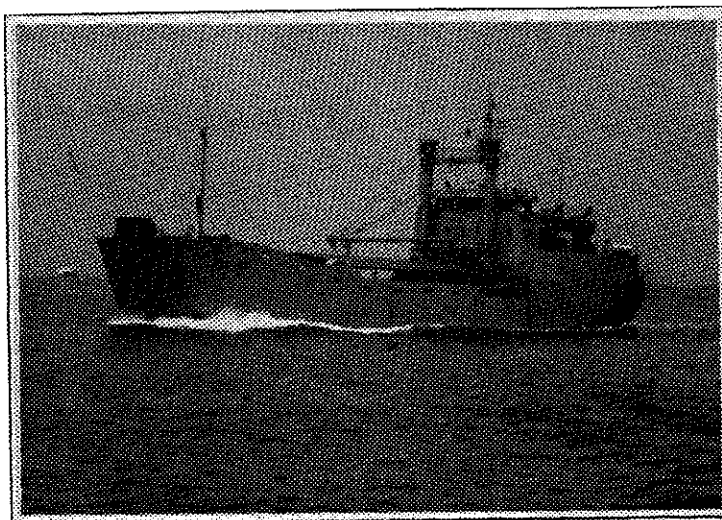
3rd Floor Sampo Buana Building, 44 Jalan Senen Raya, Jakarta
TELEP. : 375-319 ; 370-613 ; 354-361 (Direct)
366-208 ext. 272, 167

Telex : 46511 TRUENG 1A
BRANCH OFFICE :
Medan, Palembang, Surabaya, Banda Aceh, Cilegon



PT KODJA (PERSERO)

- * PRODUKSI & DISAIN KAPAL/BANGUNAN APUNG DARI BAJA, FIBRE GLASS & FERROCEMENT
- * DOCKING & REPARASI KAPAL
- * MARINE ENGINEERING
- * PRODUKSI BANTALAN KERETA API DARI BETON FERROCEMENT
- * AGENT STOCKIST KOMPONEN ALAT PERLENGKAPAN/PERAWATAN KAPAL & INDUSTRI LAINNYA.



Kantor Pusat

Jln. Laks. RE. Martadinata I/2 Ancol Volker
TANJUNG PRIOK-JAKARTA-INDONESIA
Telp. 491127,491608,491384,495316,495232
Cable. PT. KODJA
Telex. 49225 PTKODJA IA

Galangan :

TANJUNG PRIOK - SUNDA KELAPA - PALEMBANG - MUARA BARU JAKARTA

Cabang :

MEDAN - LHOKSEMAUWE - DUMAI - PALEMBANG - PANGKAL PINANG
BANDAR LAMPUNG - CIREBON - SEMARANG - CILACAP - SURABAYA
UJUNG PANDANG - BALIKPAPAN - MANADO



PLN

SUMBER TENAGA KINI DAN MASA DEPAN



PLTP KAMOJANG 30 MW



PLTA – LODOYO
JAWA – TIMUR

"PUSAT LISTRIK TENAGA AIR"
SUMBER ENERGI NON BAHAN BAKAR MINYAK