

KAJIAN PENGGUNAAN KOMPRESOR AKSIAL

Tekad Sitepu

Staf Pengajar Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara

Abstrak

Tulisan ini mencoba memberikan gambaran tentang kompresor aksial. Perbandingan tekanan yang rendah dan kapasitas yang besar merupakan kekhususan dari kompresor aksial. Kompresor ini dapat digunakan pada instalasi turbin gas dengan daya yang besar, tapi dimensi yang kecil.

Kata kunci: Kompresor aksial, derajat reaksi sudu, turbin gas.

1. PENDAHULUAN

Dalam rancang bangun kompresor aksial umumnya dikesampingkan, peneliti lebih mengutamakan kompresor radial. Perbandingan tekanan yang tinggi pada kompresor radial salah satu daya tarik, sedangkan pada kompresor aksial perbandingan tekanannya sangat rendah. Kompresor aksial dirancang agar aliran fluida dalam sudu tidak terlalu banyak mengalami pembelokan arah sehingga kerugian energi sangat kecil. Kompresor aksial yang dirancang dengan baik mempunyai rendemen 10% lebih besar dari kompresor radial yang mempunyai kemampuan (*performance*) yang sama.. Kompresor radial mempunyai perbedaan diameter sisi keluar dengan sisi masuk yang besar, sedangkan kompresor aksial relatif jauh lebih kecil. Pada kompresor aksial diameter rata-rata sisi masuk hampir sama dengan diameter rata-rata sisi buang, sehingga kecepatan tangential sisi masuk dianggap sama dengan kecepatan sisi buang. Untuk menaikkan tekanan gas dibutuhkan perubahan kecepatan dengan cara sedikit melengkungkan sudu. Kapasitas kompresor aksial jauh lebih besar dari kompresor radial, dan untuk mendapatkan tekanan tinggi harus dengan jumlah tingkat yang banyak.

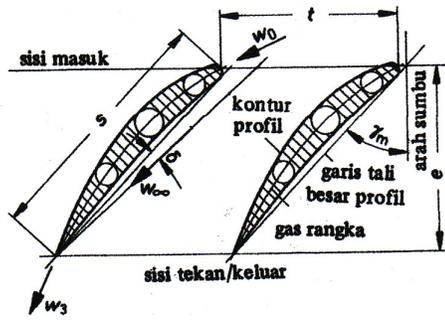
Dimensi/diameter yang lebih kecil merupakan keunggulan

kompresor aksial, sehingga dapat digunakan pada pembangkit tenaga dengan daya yang besar. Pada sistem pembangkit turbin gas dengan daya di atas 1,5 MW, umumnya digunakan kompresor aksial. Demikian juga pada pesawat terbang, kehadiran kompresor aksial sebagai pemasuk udara ke ruang bakar mutlak diperlukan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Performansi atau unjuk kerja kompresor berhubungan dengan pemanfaatan energi, karena semakin besar kerugian energi maka performansi kompresor akan semakin rendah, demikian pula sebaliknya. Untuk menganalisa desain sudu suatu kompresor aksial serta fenomena aliran yang terjadi, dapat dilakukan dengan mengamati aliran yang melewati sebuah cascade dua dimensi dari kompresor aksial.

Dalam rangka bahasan cascade dua dimensi, potongan penampang sudu pada posisi jari-jari rata-rata, biasanya ditampilkan dalam satu cascade bidang datar kompresor. Adapun yang perlu juga dipahami adalah penampang sudu dari kompresor aksial mempunyai bentuk spesifik yang secara aerodinamis disebut airfoil.



Gambar 1. Penampang Melintang Sudu Jalan Kompresor Aksial hal: 393

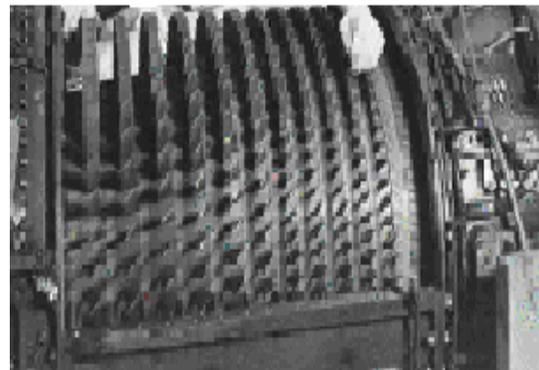
Dalam menganalisa aliran pada suatu kompresor terdapat beberapa parameter penting seperti tekanan, kecepatan, ketinggian, dan lain-lain. Dalam hal ini yang sesuai diambil adalah parameter tekanan yang dinyatakan dalam bentuk head.

Dibandingkan dengan kompresor sentrifugal, maka kompresor aksial dengan kebutuhan daya yang sama akan menghasilkan head yang lebih kecil, tetapi kapasitas aliran yang lebih besar. Perbandingan tekanan, untuk satu tingkat kompresor sentrifugal berkisar antara 1,8 sampai 2,4. Sedangkan perbandingan tekanan untuk satu tingkat kompresor aksial berkisar antara 1,1 sampai 1,2. Untuk menghasilkan head atau tekanan yang tinggi, kompresor aksial dibuat dengan banyak tingkat (*multi stage*). Memperbanyak jumlah tingkat tanpa memperbesar ukuran kompresor ke arah radial, pertambahan ukuran hanya dalam arah aksial saja. Perbedaan lain dari kompresor aksial dibandingkan dengan kompresor sentrifugal/radial adalah proses aliran gas yang keluar dari satu tingkatan untuk masuk ke tingkatan berikutnya. Pada kompresor sentrifugal aliran gas keluar impeler dalam arah tegak lurus sumbu poros, sehingga diperlukan laluan pembalik untuk dapat mengalirkan gas ke tingkat berikutnya. Laluan pembalik ini menyebabkan pertambahan ukuran kompresor dalam arah radial. Pada kompresor aksial arah aliran gas yang keluar dari impeler hampir sejajar

dengan sumbu poros, sehingga tidak diperlukan saluran pembalik. Suatu kompresor aksial dapat menghasilkan kapasitas aliran yang besar dan head yang tinggi dengan ukuran penampang yang jauh lebih kecil dari kompresor sentrifugal.

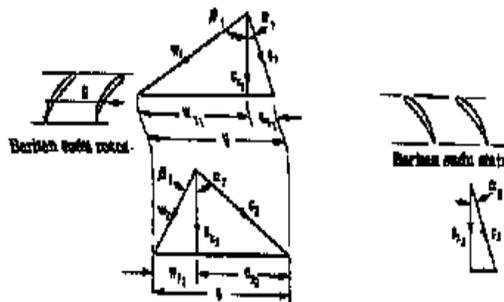
Sudu-sudu kompresor aksial yang bertingkat banyak mempunyai bentuk profil seperti bentuk sayap pesawat udara. Penampang aliran yang terbentuk harus dapat memberi kecepatan yang sama bentuknya, antara sisi isap dan sisi tekan di dalam sebuah tingkat. Pada sisi masuk profil sudu dibuat bundar, d tengah-tengah agak dipertebal, kemudian semakin ke ujung ke arah sisi keluar semakin langsing. Garis penghubung titik-titik tengah dari kontur profil disebut garis rangka.

Kompresor banyak tingkat yang alirannya bergerak secara aksial diperlihatkan pada gambar 2, dimana rotor ditumpu dengan bantalan luncur logam putih yang terbuat dari baja temfiat, bantalan tekanannya dipasang pada sisi tekan. Pada sisi itu juga terdapat titik tetap dari rumah. Perpanjangan atau pemuaiannya karena panas dari rumah dan rotor, akan bergerak ke arah kiri dan dapat diseimbangkan oleh kopling gigi elastis yang dipasang berhadapan dengan motor penggerak. Rumah yang dibagi secara horizontal dibuat dari besi tuang spesial. Sudu-sudu pengarah dipasang pada rumah yang juga dibagi secara horizontal.



Gambar.2 Rotor kompresor aksial.

Dari gambar tersebut terdapat celah aksial dan radial sehingga sudu tidak terpengaruh oleh regangan karena panas. Penampang yang dialiri fluida kecuali sudu – sudu dibuat sedemikian rupa besarnya sehingga bisa didapatkan lintasan yang baik. Pada sisi isap aliran gas bebas dari pusaran dan olakan. Di belakang dari pada tingkat yang paling terakhir dipasang suatu bagian khusus, yang bersama – sama dengan dinding saluran tekan membentuk diffuser keluar, di sini energi yang keluar dari tingkat terakhir diubah menjadi energi tekanan.



Gambar 3: Diagram Kecepatan Untuk Satu Tingkat Kompresor

Diagram-diagram kecepatan untuk tingkat kompresor diberikan dalam Gambar 3 dan semua sudut-sudut dan kecepatan-kecepatan putaran dalam gambar ini mempunyai harga positif. Sebagaimana halnya dengan tingkat turbin aksial, suatu tingkat kompresor normal adalah di mana kecepatan-kecepatan absolut dan arah-arah kecepatan pada saat ke luar tingkat sama dengan waktu masuk tingkat. Aliran dari tingkat sebelumnya (atau baling-baling pengarah) mempunyai kecepatan c_1 dan arah α_1 ; dengan mengurangi secara vektor dengan kecepatan tangential sudu U , akan memberikan kecepatan relatif w_1 pada sudut β_1 (arah aksial merupakan acuan untuk semua sudut). Relatif terhadap sudu-sudu dari rotor, aliran membelok ke arah β_2 pada arah ke luar dengan kecepatan relatif w_2 . Jelas, dengan menambahkan secara vektor kecepatan sudu U menjadi w_2 memberikan kecepatan absolut ke luar

dari rotor, c_2 pada sudut α_2 . Sudu-sudu stator membelokkan aliran ke arah sumbu dan kecepatan keluaranya c_3 pada sudut α_3 . Untuk tingkat normal $c_3 = c_1$ dan $\alpha_3 = \alpha_1$. Dapat dicatat seperti dalam Gambar 3, kedua kecepatan relatif dalam rotor dalam kecepatan absolut dalam stator mengalami difusi.

Dengan kelengkungan yang kecil dari profil sudu yang dibuat yang menyerupai profil pesawat udara, sudu tersebut harus bekerja dengan kecepatan gas yang tinggi, agar dapat diperoleh jumlah tingkat yang ekonomis. Kecepatan gas tidak melampaui kecepatan suara, karena akan terjadi gangguan terhadap jalannya aliran dan oleh karena itu kemudian harus dihitung penurunan rendemen. Di samping itu akibat dari aliran yang terganggu tersebut, pada sudu-sudu akan terjadi pembebanan mekanis tambahan kecepatan suara

$a = \sqrt{\gamma \cdot R_i \cdot T}$ untuk masing-masing gas berbeda-beda, ini dipengaruhi oleh temperatur dan akan semakin tinggi sesuai dengan kerapatannya (kenaikan temperatur). Untuk gas-gas yang dengan kecepatan suara yang lebih rendah sudu-sudunya lebih cocok mempergunakan $r = 0,5$.

Dengan demikian pada sudu-sudu jalan dan sudu-sudu pengarah dibuat w_1 demikian pula c_2 mencapai $0,9a$ dan oleh karena itu dapat dicapai tinggi tekan tingkat yang maksimal.

Untuk gas-gas dengan kecepatan suara yang lebih tinggi dipilih $r = 1$ dan bila perlu harga u bisa mencapai batas kekuatan yang di izinkan dengan demikian w_2 dapat dibuat tinggi dan Δw_u yang sesuai dapat dicapai. Untuk pemampatan udara kedua konstruksi tersebut dapat dipergunakan.

Dalam hal ini penentuan derajat reaksi dipengaruhi oleh kondisi kerja. Dengan $r = 0,5$ diperoleh kecepatan absolut c yang lebih besar dengan olakan yang kuat, hal ini menyebabkan pengendapan debu-debu dan timbulnya erosi (kikisan) pada sudu-sudu dan bersama-sama mengakibatkan rendemen yang lebih buruk.

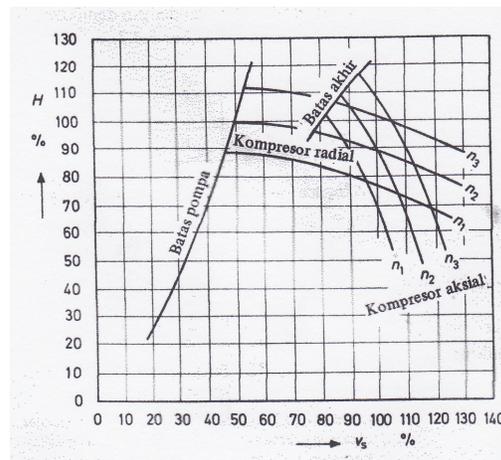
Untuk kompresor aksial yang dipasang pada suatu instalasi tetap (stationer) saat ini sudu-sudunya memakai derajat reaksi $r=0,85$ sampai 1,0.

Hal ini diambil, karena sudu-sudu tidak peka terhadap pengotoran dan pengikisan, dan karena daerah karakteristik, memperlihatkan bentuk yang lebih menguntungkan pada beban kerja sebagian.

Selanjutnya pada pemilihan derajat reaksi suatu sudu-sudu kompresor aksial akan didapatkan, bila kerja dari tingkat yang tertentu direalisasikan dengan suatu jumlah tingkat tertentu atau dengan jumlah tingkat yang terbatas, bila yang berhubungan dengan aliran dan kondisi kekuatan dioptimasi, bila masalah-masalah dari karakteristik untuk beban sebagian harus diperhitungkan secara khusus. Selama pemampatan volume yang dialirkan dan temperatur berubah-ubah dari tingkat yang satu ke tingkat lainnya.

Di dalam tingkat-tingkat dari kompresor aksial kecepatan-kecepatan sudu jalan dan sudu pengarah harus diperlambat. Pada kondisi yang sama, kehilangan-kehilangan berupa aliran yang diperlambat selalu lebih besar daripada aliran yang dipercepat. Pada perlambatan timbul banyak sekali pusaran yang kuat dengan tendensi pemecahan. Suatu harga batas yang umum adalah bahwa perbandingan perlambatan w_2/w_1 demikian pula c_1/c_2 hendaknya tidak lebih kecil dari 0,7. Hendaknya harga batas dari kecepatan aliran tidak melebihi 0,86 sampai 0,88 bilangan mach (kecepatan suara).

yang sudah dihisap mundur kembali melalui kompresor. Hal ini akan menimbulkan suara gemuruh dan jalan kerja kompresor akan menjadi tidak tenang dan juga terjadi getaran. Kondisi seperti ini harus dihindari atau dicegah dengan cara mengeluarkan udara atau gas yang sudah ditekan oleh kompresor. Untuk itu, kompresor dilengkapi dengan suatu katup yang bisa diatur sedemikian rupa, yaitu bila tekanan di dalam kompresor naik sampai ke suatu batas tertentu, katup tersebut akan terbuka dan udara dari dalam kompresor akan keluar, sampai kompresor dapat bekerja kembali dengan tenang. Hal ini menjadi masalah saat turbin gas akan di-start. Pada kompresor radial, sebagian kecil dari kapasitas volumenya dikeluarkan, karena letak batas pemompaan pada kompresor radial lebih rendah daripada kompresor aksial.



Gambar 4. Grafik karakteristik kompresor

3. PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik dan Batas Pemompaan:

Bila udara yang dihisap oleh kompresor dan ditekan tidak dikeluarkan dari kompresor, maka tekanan udara di dalam sudu-sudu kompresor akan naik sampai tingginya sedemikian rupa, dan makin sedikit udara yang dihisap. Pada suatu jumlah tertentu, kompresor akan mulai "memompa"; yaitu aliran gas

Bila untuk kompresor aksial masalah seperti pada kompresor radial tersebut di atas, disebut sebagai batas pengoyakan/pemecahan aliran fluida. Dalam Gambar 4 ditunjukkan bahwa secara umum tekanan fluida akan naik, bila kecepatan putar dinaikkan. Karakteristik daerah kerja kompresor radial agak datar dan bentuk profil sudu jalan, sedangkan untuk kompresor aksial mempunyai bentuk kelengkungan grafik karakteristik yang curam.

3.2. Derajat Reaksi

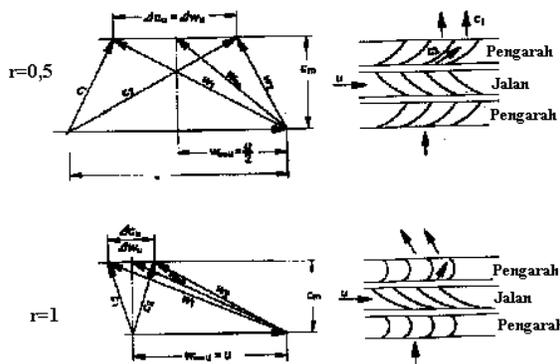
Kerja spesifik $Y = u(c_{u2} - c_{u1}) = u \cdot \Delta c_u$ yang terjadi sepanjang tinggi sudu, mulai dari leher (hub) sampai puncak harus konstan, agar aliran yang merata dapat dicapai. Tetapi u_1 didekat leher (kaki sudu) lebih kecil dari u_a pada puncak sudu supaya bisa memenuhi kekekalan energi:

$$u_i \cdot \Delta c_{ui} = u_a \cdot \Delta c_{ua} = \text{konstan}$$

Sudu-sudu harus dilengkungkan, karena sudut-sudut sudu β_i dan β_a harus dibuat dengan besar yang berbeda-beda.

Hal ini dijelaskan pada Gambar 5, yaitu yang termasuk ke dalam suatu perhitungan rancangan, untuk 2 macam sudu dengan daya yang sama, tetapi masing-masing dengan derajat reaksi $r = 0,5$ dan derajat reaksi $r = 1$.

Energi yang dihasilkan dibagi-bagi ke



sudu-sudu jalan dan sudu-sudu pengarah.

Gambar 5. Diagram kecepatan teoritis kompresor aksial

Dengan pemilihan sudu-sudu dan bentuk profil, dimungkinkan suatu pembagian tinggi kenaikan yang ditandai dengan derajat reaksi r_a yaitu antara $r = 0$ dan $r = 1$. Suatu persamaan yang ringkas dan jelas untuk derajat reaksi dapat diturunkan, sebagai berikut:

$$Y_{tingkat} = u \cdot \Delta c_u = u \cdot \Delta w_u$$

Kerja dari sudu jalan adalah:

$$Y_{jalan} = (w_1^2 - w_2^2) / 2$$

Derajat reaksi ditentukan dari:

$$r = \frac{Y_{jalan}}{Y_{tingkat}}$$

$$r = \frac{(w_1^2 - w_2^2) / 2}{u \cdot (c_{2u} - c_{1u})}$$

$$r = \frac{w_1^2 - w_2^2}{2 \cdot u \cdot (w_{1u} - w_{2u})}$$

$$r = \frac{1}{2} \cdot \frac{w_{1u} + w_{2u}}{u}$$

4. KESIMPULAN

Pada kompresor dengan derajat reaksi 0,5 bentuk profil sudu melengkung. Sudut-sudut masuk dan keluar dari kaki sampai ujung sudu bertambah kecil. Kelengkungan total yang terbesar ($\beta_2 - \beta_1$) terdapat pada kaki sudu. Pada sudu-sudu jalan kecepatan diperbesar dari w_1 ke w_2 .

DAFTAR PUSTAKA

1. S.L.Dixon dan Ir.Sutanto, MSc *Mesin Turbo*, Edisi Pertama, Jakarta UI Press, 1986.
2. Dietzell, Fritz dan Dakso Sayono, 1992. *Turbin Pompa dan Kompresor*. Jakarta: Erlangga.
3. Harman, Richard T. C. 1981. *Gas Turbin Engineering Applications, Cyclus and Characteristics*, 1st Published. London
4. El wakil, M. W. 1992. *Instalasi Pembangkit Daya*, Jilid I. Jakarta: Erlangga
5. Sorensen, Harry. A. 1983. *Energy Conversion System*. New York: Jhon Wiley and Sons.