



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Unand.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Unand.

**PEMBUATAN PROGRAM DAN ANIMASI PERANCANGAN
TURBIN AIR ALIRAN SILANG**

TUGAS AKHIR



**ALI UPAN
05 171 004**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG 2010**

ABSTRAK

Turbin air merupakan turbin yang fluida penggerakannya adalah air, yang mengubah tenaga air menjadi tenaga putar, dimana tenaga putar ini kemudian diubah menjadi tenaga listrik oleh generator. Seiring dengan perkembangan teknologi, ada beberapa media yang dapat digunakan dalam mempermudah proses perancangan. Salah satu media yang dapat digunakan adalah media komputasi, berupa animasi dan program yang lebih interaktif

Pada tugas akhir ini dilakukan pembuatan program dan animasi perancangan "turbin air aliran silang". Pembuatan program dan animasi dimaksudkan untuk menggambarkan tahapan perancangan dan mempermudah dalam proses perancangan sebuah "turbin air aliran silang". Selain itu, pembuatan animasi sistem juga bertujuan untuk mempermudah penyampaian dan pemahaman prinsip kerja dari sebuah " turbin air aliran silang".

Berdasarkan hasil pembuatan program dan animasi perancangan "turbin air aliran silang" yang telah dilakukan, hasil yang diperoleh dari perhitungan dengan menggunakan program tidak jauh berbeda jika dibandingkan dengan hasil perhitungan secara manual. Dengan pembuatan animasi tersebut, dapat mempermudah pemahaman mengenai prinsip kerja komponen utama turbin air aliran silang.



KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum wr.wb.

Segala puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmat, nikmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat berangkaikan salam semoga Allah SWT curahkan kepada junjungan kita nabi besar Muhammad SAW, yang telah menunjukkan jalan kebenaran kepada umatnya. Alhamdulillah dengan nikmat sehat, taufik dan hidayah-nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul **"PEMBUATAN PROGRAM DAN ANIMASI PERANCANGAN TURBIN AIR ALIRAN SILANG"**.

Adapun tujuan dari penulisan ini adalah untuk memenuhi syarat guna memperoleh gelar **Sarjana Teknik (Strata Satu)** pada **Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas Padang**.

Penulis menyadari masih banyak kendala yang dihadapi dan kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini. Penulis begitu banyak menerima bantuan dari berbagi pihak dan penulis mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Allah SWT, yang memberikan rahmat dan karunia kepada penulis.
2. Teristimewa buat keluarga penulis yang tercinta, Ayahanda ABU KHARI dan Ibunda CANDAWATI serta adik-adik ku tersayang, yang telah mencurahkan segala kasih sayang, perhatian, kesabaran dan pengorbanan, serta dorongan dan motivasi untuk penulis.
3. Adly Havendri, Msc. selaku pembimbing saya yang telah meluangkan waktu, tenaga, pemikiran, ide-ide, petunjuk dan kesabaran dalam membimbing penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Prof. Dr.-Eng. Gunawarman sebagai Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas.
5. Gusriwandi, MT sebagai Pembing Akademik yang telah membimbing penulis selama masa perkuliahan.
6. Dr.-Ing. Eka Satria selaku Koordinator Tugas Akhir.

7. Bapak-bapak dan Ibu-ibu Staf Pengajar di lingkungan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas.
8. Pegawai-pegawai Biro Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas.
9. Teman-teman seangkatan yang sudah ST maupun yang belum ST yang tidak dapat disebutkan nama nya satu persatu atas bantuan, dukungan, dorongan, canda dan tawanya selama kuliah dan penulisan tugas akhir ini.
10. Para Senior dan Junior Teknik Mesin atas info, dukungan dan semangatnya.
11. Para rekan-rekan Asisten Laboratoruim Konversi Energi tidak dapat disebutkan namanya satu persatu atas dukungan dan bantuannya.
12. Para dewan, rekan-rekan dan adik-adik anggota UKM Neo Telemetri atas bantuan, semangat, canda dan tawanya selama masa kuliah, Tugas Akhir, dan di UKM Neo-Telemetri.
13. Dan semua pihak yang telah membantu, memberi dukungan dan semangat dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis telah berusaha semaksimal mungkin untuk mencurahkan segenap kemampuan, tenaga dan waktu agar Tugas Akhir ini dapat selesai dengan baik, namun penulis menyadari masih banyak kekurangan didalamnya. Untuk itu saran dan kritikan yang konstruktif dari berbagai pihak sangat diharapkan.

Akhirnya harapan penulis semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua...Amin.

Padang, Desember 2010

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR SIMBOL	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penulisan	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Sistematika Penulisan	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Turbin Air	3
2.2 Klasifikasi Turbin Air	3
2.2.1 Turbin Aksi	4
2.2.2 Turbin Reaksi	4
2.3 Konstruksi Dasar Turbin Air	4
2.4 Konsep Dan Langkah-Langkah Perancangan	6
2.4.1 Konsep Perancangan	6
2.4.2 Langkah-Langkah Perancangan	7
2.5 Kriteria Pemilihan Jenis Turbin Air	8
2.6 Konsep Turbin Aliran Silang (<i>Cross Flow</i>)	11
2.6.1 Alur Pancaran Memintas Runner	13
2.6.2 Efisiensi	15
2.6.3 Bentuk Konstruksi	18
2.6.3.1 Sudut Sudu	18

2.6.3.2 Lebar Lingkaran Sudu	19
2.6.3.3 Diameter dan Panjang Runner	22
2.6.3.4 Kelengkungan Sudu	22
2.6.3.5 Geometri Sudu	23
2.6.3.6 Panjang busur dan LuasmPemasukan	26
2.6.4 Korelasi Antar Turbin	28

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Perancangan Turbin Air Aliran silang Secara Manual	31
3.1.1 Konsep Perancangan	31
3.1.2 Spesifikasi Rancangan	31
3.1.3 Definisi Komponen	31
3.1.4 Analisa Perhitungan	32
3.2 Perhitungan Turbin Air Aliran Silang Secara Manual	35
3.2.1 Daya Turbin	35
3.2.2 Segitiga Kecepatan	36
3.2.2.1 Komponen Segitiga Kecepatan Pada Tingkat 1	36
3.2.2.2 Diameter Dalam Turbin	37
3.2.2.3 Komponen Kec. Aliran Keluar Pada Tingkat 1	37
3.2.2.4 Komponen Kec. Aliran Keluar Pada Tingkat 2	37
3.2.3 Perencanaan Dinding Runner	39
3.2.4 Perencanaan Sudu	40
3.2.4.1 Perhitungan Geometri Sudu	40
3.2.4.2 Spasi Atau Jarak Sudu Dan Lebar Sudu	41
3.2.4.3 Panjang Busur dan Luas Pemasukan	43
3.3 Pembuatan Animasi	44
3.4 Pembuatan Program	44
3.4.1 Alogaritma Program	45
3.4.2 Tahapan Pembuatan Program	47

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Perhitungan dan Pembahasan Perancangan Turbin <i>Crossflow</i> Secara Manual	50
4.2 Hasil dan Pembahasan Perancangan Animasi Turbin <i>CrossFlow</i>	52
4.3 Hasil dan Pembahasan Perancangan Turbin <i>CrossFlow</i> dengan Menggunakan Program	53
BAB 5 PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran	63
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN A	66
LAMPIRAN B	70



DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Pengelompokan Turbin ^{3/}	4
Tabel 2.2 Run-away speed Turbin, $N_{maks}/N^{4/}$	10
Tabel 4.1 Data Perancangan	50
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Diameter Runner	50
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Segitiga Kecepatan	50
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Perencanaan Dinding Runner	51
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Perencanaan Sudu	51



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Skema : Konstruksi Dasar Turbin Air <i>Sumber: Steeter. VL. (1998, Hal 105)</i>	5
Gambar 2.2 Diagram Aplikasi berbagai jenis Turbin Air (Head Vs Debit) ^{/4/}	11
Gambar 2.3 Turbin Crossflow T-12 ^{/4/}	12
Gambar 2.4 Turbin Crossflow T-14 ^{/4/}	12
Gambar 2.5 Runner dan sudu turbin Crossflow ^{/16/}	12
Gambar 2.6 Skema Alur Air Memintas Turbin ^{/2/}	13
Gambar 2.7 Alur Air Memintas Turbin ^{/5/}	14
Gambar 2.8 Persilangan Aliran Memintas Turbin ^{/2/}	14
Gambar 2.9 Segitiga Kecepatan ^{/2/}	16
Gambar 2.10 Jarak Antar Sudu ^{/2/}	17
Gambar 2.11 Diagram Kecepatan Paduan ^{/2/}	17
Gambar 2.12 Diagram-diagram Kecepatan ^{/2/}	19
Gambar 2.13 Alur Pancaran Dalam Runner ^{/2/}	20
Gambar 2.14 Kelengkungan Sudu ^{/1/}	23
Gambar 2.15 Rancangan Alur Aliran Mutlak di Tingkat Pertama Runner ^{/1/}	24
Gambar 2.16 Konstruksi Geometri Sudu ^{/1/}	25
Gambar 2.17 Luasan Pemasukan Aliran Turbin Aliran Silang ^{/1/}	28
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> tahapan pengerjaan tugas akhir.	30
Gambar 3.2 <i>Animasi Turbin Cross-Flow</i>	33
Gambar 3.3 Variabel-variabel yang dihitung pada runner	34
Gambar 3.4 Komponen segi tiga kecepatan pada Tingkat 1 ^{/1/}	36
Gambar 3.5 Proses pembuatan <i>layout</i> program	48
Gambar 4.1 <i>Animasi Turbin CrossFlow</i>	52
Gambar 4.2 Tampilan Input Password	53
Gambar 4.3 Tampilan Input Data	54
Gambar 4.4 Tampilan Perhitungan Daya Turbin	55

Gambar 4.5 Tampilan Perhitungan Putaran Poros	55
Gambar 4.6 Tampilan perhitungan Kecepatan Spesifik	56
Gambar 4.7 Tampilan Perhitungan <i>Kecepatan Absolut</i>	57
Gambar 4.8 Tampilan Perhitungan <i>Sudut Masuk</i>	57
Gambar 4.9 Tampilan Perhitungan <i>Diameter Dalam</i>	58
Gambar 4.10 Tampilan Perhitungan Pada Segitiga Kecepatan	59
Gambar 4.11 Tampilan Perhitungan Pada Dinding Runner	59
Gambar 4.12 Tampilan Perhitungan Pada Sudut Kelengkungan Sudu	60
Gambar 4.13 Tampilan Perhitungan Jari-Jari Kelengkungan Sudu	61
Gambar 4.14 Tampilan Perhitungan Perhitungan Jarak Sudu	61
Gambar 4.15 Tampilan Perhitungan Panjang Busur dan Luas Pemasukan	62



DAFTAR SIMBOL

Q	=	Debit (m^3/s)
H	=	Head (m)
K	=	Konstanta kecepatan
α_1	=	Sudut masuk ($^\circ$)
ϕ	=	Koefisien empiris
η	=	Efisiensi turbin
ρ_a	=	Massa jenis air (Kg/m^3)
G	=	Gravitasi bumi (m/s^2)
P_t	=	Daya turbin (kW)
N	=	Putaran turbin (Rpm)
n_s	=	Kecepatan spesifik (Rpm)
D_1	=	Diameter runner (m)
R_1	=	Jari-jari runner (m)
C_1	=	Kecepatan absolut air masuk turbin (m/s)
U_1	=	Kecepatan tangensial ujung sudu (m/s)
W_1	=	Kecepatan relatif air terhadap sudu (m/s)
β_1	=	Sudut kecepatan nisbi ($^\circ$)
R_2	=	Jari-jari dalam turbin (m)
W_2	=	Kecepatan arah radial (m/s)
U_2	=	Kecepatan arah tangensial (m/s)
α_2	=	Sudut antara kecepatan arah absolut dengan kecepatan arah tangensial ($^\circ$)
C_2	=	Kecepatan absolute (m/s)
C_3	=	Kecepatan absolut aliran masuk tingkat II (m/s)
W_3	=	Kecepatan arah radial aliran masuk tingkat II (m/s)
U_3	=	Kecepatan arah tangensial aliran masuk tingkat II (m/s)
U_4	=	Kecepatan arah tangensial aliran keluar tingkat II (m/s)
W_4	=	Kecepatan arah radial aliran keluar tingkat II (m/s)
C_4	=	Kecepatan absolut aliran keluar tingkat II (m/s)
s_o	=	Tebal pancaran air (m)

y	=	Jarak pancaran (m)
y_1	=	Jarak antara sisi dalam pancaran (m)
y_2	=	Jarak antara sisi luar pancaran (m)
b_o	=	Panjang runner (m)
C	=	Jarak penghubung aliran masuk dengan keluar pada tingkat II
ε	=	Sudut (lihat gambar 2.16) ($^\circ$)
ξ	=	Sudut (lihat gambar 2.16) ($^\circ$)
φ	=	Sudut (lihat gambar 2.16) ($^\circ$)
D	=	Jarak antara titik masuk dengan titik keluar (m)
δ	=	Sudut kelengkungan sudu ($^\circ$)
r_b	=	Jari-jari kelengkungan sudu(m)
r_p	=	Jari-jari lingkaran pitch (m)
T	=	Jarak antar sudu (m)
Z		Jumlah sudu (m)
V		Kecepatan aliran (m/s)
A		Lebar lingkaran sudu (m)
S_2		Tebal air keluar dari sudu tingkat I (m)
S_1		Tebal air masuk pada sudu tingkat I (m)
L		Panjang busur pemasukan (m)
A		Luas pemasukan aliran (m ²)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Potensi sumber energi yang dimiliki Indonesia sangatlah banyak, seperti energi air, energi surya, energi angin, dan energi panas bumi. Tetapi dalam pemanfaatan dari potensi tersebut sangatlah minim. Diperlukan usaha untuk memanfaatkan sebanyak mungkin sumber energi alternatif. Seiring dengan perkembangan teknologi, media komputasi, berupa simulasi, program dan animasi yang lebih interaktif merupakan suatu media yang dapat digunakan untuk mempermudah dalam proses perancangan mengubah energi alternatif tersebut menjadi energi yang termanfaatkan.

Energi air sejauh ini adalah alternatif yang menarik. Sumber energi air dalam ukuran kecil dan sedang banyak tersedia. Telah dilakukan banyak pemanfaatan dengan menggunakan turbin aliran silang, namun sejauh ini turbin tersebut bekerja pada tingkat efisiensi rancangan sekitar 76 % dan dalam pemberian efisiensi turbin jauh lebih rendah yaitu sebesar 50 %. Dalam usaha mendapatkan pengetahuan yang lebih banyak tentang turbin aliran silang sebagai efisiensi turbin dapat ditingkatkan, direncanakan untuk membuat alat uji turbin. Tugas akhir ini dikhususkan membuat program dan animasi perancangan turbin aliran silang yang akan digunakan untuk alat uji tersebut.

1.2 Tujuan Tugas Akhir

Adapun tujuan pelaksanaan tugas akhir ini adalah :

1. Mempermudah pemahaman terhadap prinsip kerja dari turbin aliran silang.
2. Menggambarkan prinsip kerja turbin aliran silang melalui media animasi
3. Memahami proses perancangan sebuah turbin aliran silang melalui program perancangan turbin aliran silang.

1.3 Batasan Masalah

Dalam merealisasikan topik yang disebutkan diatas, maka perlu dibuat batasan batasan masalah sebagai berikut :

1. Pembuatan animasi dua dimensi (2D) prinsip kerja turbin aliran silang
2. Pembuatan program perancangan turbin aliran silang yang dibatasi pada *tinggi jatuh air* (1-200 m), *debit* (0,2-10 m³/s) dan diameter *Runner* (0-10000 m).
3. Spesifikasi turbin yang dihitung terbatas untuk beberapa spesifikasi utama, yaitu: daya turbin, kecepatan putaran, kecepatan spesifik, komponen-komponen pada segitiga kecepatan, perencanaan sudu, perencanaan *runner* dan Panjang Busur dan Luas Pemasukan.

1.4 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini meliputi beberapa bab dan lampiran, yaitu :

1. **BAB I Pendahuluan**

Terdapat uraian mengenai latar belakang tugas akhir ini, tujuan tugas akhir, batasan masalah dan sistematika penulisan.

2. **BAB II Tinjauan Pustaka**

Berisi penjelasan mengenai turbin air, konsep dan langkah-langkah perancangan, kriteria pemilihan jenis turbin air, konsep turbin aliran silang (*cross-flow*).

3. **BAB III Metodologi**

Bab ini berisi tentang perancangan turbin air aliran silang secara manual, perencanaan spesifikasi rancangan, segi tiga kecepatan, perencanaan dinding *runner*, perencanaan sudu dan lengkung pemasukan.

4. **BAB IV Hasil dan Pembahasan**

Berisikan tentang pembahasan hasil perancangan animasi, program dan data-data hasil perhitungan perancangan.

5. **BAB V Penutup**

Berisikan tentang kesimpulan dari hasil perancangan animasi dan program, serta saran untuk pengembangan selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Turbin Air

Turbin air dikembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit tenaga listrik. Turbin air berperan untuk mengubah energi air (energi potensial, tekanan dan energi kinetik) menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros. Putaran poros turbin ini akan diubah oleh generator menjadi tenaga listrik. Banyak sistem pembangkit kita kenal dari pemanfaatan aliran air ini. Sistem pembangkit tenaga yang memanfaatkan tenaga aliran air secara maksimal adalah sistem pembangkit tenaga air. Tetapi karena umumnya sistem pembangkit ini digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik, maka sistem ini disebut sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Sistem ini menggunakan turbin air sebagai alat utama untuk membangkitkan tenaga. Penggerakan turbin ini adalah memanfaatkan tenaga aliran yang didapat dari aliran air. Yaitu dengan memanfaatkan kecenderungan air yang selalu mengalir ke tempat yang lebih rendah sehingga didapatkan energi potensial air.

Energi tersebut didapat dengan cara mengalirkan air dari suatu ketinggian dengan laju aliran tertentu melalui suatu saluran yang biasanya disebut dengan pipa pesat kesuatu unit turbin. Kecepatan dan tekanan air yang terjadi akibat perbedaan ketinggian tersebut digunakan untuk memutar *runner* (roda turbin atau bagian turbin yang berputar), *runner* tersebut mempunyai fungsi menerima energi tekan dan kecepatan dari air. Energi yang diterima sudu-sudu, kemudian dirubah menjadi energi mekanis dalam bentuk daya dan putaran pada poros turbin.

2.2 Klasifikasi Turbin Air

Berdasarkan prinsip kerja turbin air dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin aksi dan turbin reaksi.

Tabel 2.1 Pengelompokan Turbin^{3/}

Jenis Turbin Air	High Head	Medium Head	Low Head
Turbin Aksi	- Pelton - Turgo	- Cross-Flow - Multi-Jet Pelton - Turgo	- Cross-Flow
Turbin Reaksi		- Francis	- Propeller - Kaplan

2.2.1 Turbin Aksi

Pada turbin jenis ini, Tekanan air diubah sebelum masuk ke sudu penggerak menjadi energi energi kinetik kecepatan tinggi menggunakan *nozzel*. Turbin impuls mengubah semburan air berupa momentum atau impuls yang menyebabkan gaya bilah turbin berputar menghasilkan energi listrik. Turbin yang termasuk jenis ini adalah turbin *Pelton*, *Turgo* dan *Cross-Flow*.

Energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada nosel. Air keluar nosel yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (*impulse*). Akibatnya roda turbin akan berputar. Semua energi tinggi tempat dan tekanan ketika masuk ke sudu jalan turbin dirubah menjadi energi kecepatan.

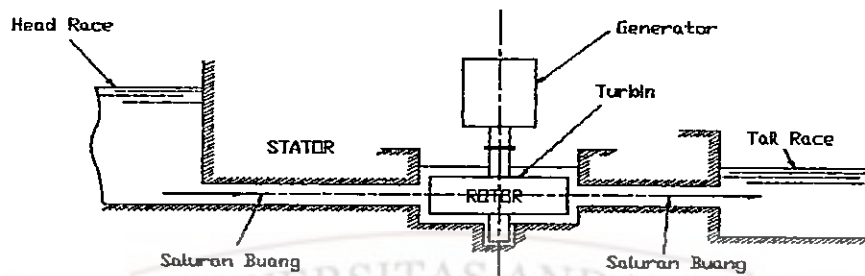
2.2.2 Turbin Reaksi

Turbin Reaksi adalah piranti yang hulunya rendah dan debitnya besar. Tekanan air mengasilkan gaya pada permukaan sudu gerak yang tekananya semakin terus menurun sepanjang turbin setelah memberikan sebagian besar energinya kepada sudu gerak tersebut. Selubung turbin sepenuhnya terendam didalam air dapat menjadi cukup kuat menahan tekanan yang beroperasi. Turbin yang termasuk kategori ini adalah turbin *Francis* dan *Kaplan*.

2.3 Konstruksi Dasar Turbin Air

Secara garis besar turbin air terdiri dari dua bagian utama, yaitu *stator* dan *rotor*. *Rotor* adalah bagian-bagian dari turbin yang bergerak atau berputar seperti roda turbin, poros, kopleng, roda gaya, *pulley* dan bagian lainnya yang dipasang pada poros atau roda turbin. *Stator* adalah bagian-bagian dari turbin air yang diam

seperti saluran masuk, rumah-rumah, bantalan poros, sudu antar, saluran buang dan lain-lain, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Skema : Konstruksi Dasar Turbin Air

[Sumber : Steeter. VL. (1998, Hal 105)]

Roda turbin (*runner*) adalah bagian utama dari turbin air yang berfungsi untuk merubah tenaga potensial dan tenaga kinetis aliran air menjadi tenaga mekanis yang berupa putaran poros. *Runner* ini terdiri dari bagian *hub* dimana sejumlah sudu-sudu gerak dipasang pada sekelilingnya. *Hub* ini dipasang pada poros dengan sebuah pasak memanjang dan mur pengikat. Poros, kopleng dan *pulley* adalah bagian dari rotor turbin air yang berfungsi untuk mentransmisikan daya, sedangkan roda gaya untuk meratakan putaran turbin.

Saluran masuk dan rumah turbin air adalah bagian utama dari stator turbin dimana sudu-sudu antara atau *nozzle* dan bantalan poros dipasangkan. Pada turbin-turbin reaksi seperti turbin *Kaplan* dan turbin *Francis*, saluran masuk atau rumah-rumah berupa ruang pusaran rumah siput (*scroll casing*) dimana sejumlah sudu-sudu antar yang berfungsi untuk mengatur atau mengarahkan aliran air dipasang. Sedangkan pada turbin aksi, seperti turbin *Pelton* dan turbin *Cross Flow* saluran masuk berupa *nozzle* yang dilengkapi dengan tombak-tombak (*spear*) atau sudu antar yang berguna untuk mengatur aliran air masuk roda turbin. Pada turbin *Propeller*, rumah-rumah turbin berupa suatu tabung lurus dua lapis yang antara keduanya dipasang sudu-sudu antar.

Saluran buang untuk menyalurkan air yang keluar dari roda turbin ke pembuangan (*tail race*). Pada turbin aksi saluran buang ini berupa ruang terbuka saja. Jadi dalam hal ini air keluar dari roda turbin langsung jatuh ke pembuangan. Namun pada turbin-turbin reaksi saluran buang ini pada umumnya berupa tabung

vakum (draft tube). Tabung ini disamping berguna untuk menyalurkan air buangan juga menambah *head* dari instalasi sehingga meningkatkan effisiensinya.

2.4 Konsep dan Langkah-Langkah Perancangan

2.4.1 Konsep Perancangan

Perancangan bertujuan untuk memformulasikan suatu rencana untuk memuaskan atau memenuhi kebutuhan manusia. Perancangan mekanika (mechanical design) bertujuan untuk merancang suatu benda atau sistem mekanik seperti mesin, produk, struktur, dan peralatan. Sebagian besar perancangan menggunakan ilmu matematika, material, dan mekanika teknik. Perancangan dimulai dengan pengenalan dan penyusunan kebutuhan terhadap sesuatu. Kebutuhan tersebut mungkin hanyalah ketidakpuasan terhadap sesuatu, perasaan untuk mencapai kemudahan, atau merasa bahwa sesuatu itu harus diperbaiki.

Langkah selanjutnya yaitu mendefinisikan masalah yang berhubungan dengan kebutuhan yang akan kita penuhi. Pendefinisian masalah harus mencakup semua spesifikasi sistem dan semua batasan sistem yang akan dirancang, misalnya kuantitas *input* dan *output*, karakteristik sistem, dan dimensi ruang yang akan terpakai. Setelah semua masalah telah dikenali dan spesifikasi telah ditentukan, langkah selanjutnya yaitu sintesis untuk penyelesaian yang *optimum*. Sintesis meliputi asumsi-asumsi awal tentang sistem yang akan dirancang. Sintesis harus diikuti dengan langkah analisis dan optimasi, karena sistem yang dirancang harus dianalisis untuk menentukan prestasi (performance) yang dipenuhi oleh spesifikasi tersebut.

Analisis mungkin saja menyatakan bahwa sistem tersebut belum *optimum*. Jika rancangan gagal pada tahap ini, prosedur sintesis harus diulangi. Analisis dan optimasi membutuhkan pembuatan atau perencanaan *model abstrak* sistem yang memenuhi beberapa bentuk analisis matematika, yang disebut model matematika. Evaluasi mencakup pertanyaan: “Apakah rancangan dapat diandalkan?”, “Bisakah bersaing dengan produk sejenis?”, “Apakah ekonomis dalam produksi dan pemakaian?”, “Apakah mudah dalam perawatan dan pengaturan?”, dan “Apakah menghasilkan keuntungan dari pemakaiannya?”.

2.4.2 Langkah-Langkah Perancangan

Tahap akhir proses perancangan yaitu mempresentasikan hasil rancangan pada orang lain. Pendapat orang lain dan informasi-informasi tambahan yang didapat selama presentasi bisa sangat membantu dalam proses perancangan akhir dan pembuatan hasil rancangan. Pertimbangan yang harus dilakukan dalam perancangan meliputi salah satu atau lebih dari daftar berikut ini:

1. Untuk keseluruhan sistem:
 - a. Kekuatan, yaitu besar gaya yang diperlukan untuk menggagalkan sistem.
 - b. *Defleksi*, yaitu melenturnya bahan dari kedudukan semula bila berada di bawah pengaruh gaya yang bekerja.
 - c. Berat total sistem.
 - d. Ukuran sistem yang sudah dirakit secara keseluruhan.
2. Untuk permukaan komponen:
 - a. Keausan, yaitu susutnya material karena gesekan.
 - b. Pelumasan untuk mengurangi gesekan pada bantalan atau permukaan yang bergesekan sehingga menurunkan tingkat keausan dan temperatur kerja.
 - c. Korosi, yaitu proses perubahan atau kerusakan material karena reaksi kimia dengan lingkungan.
 - d. Gesekan antar elemen mesin.
3. Biaya, meliputi biaya pembuatan dan operasional.
4. Pertimbangan lain:
 - a. Keandalan, yaitu kemungkinan sistem tidak gagal dalam penggunaan.
 - b. Pemeliharaan, yaitu tindakan yang dilakukan untuk mencegah kerusakan-kerusakan yang mungkin dapat terjadi.
 - c. Proses pembuatan, yaitu mewujudkan hasil rancangan menjadi produk yang siap pakai.
 - d. Kebisingan, yaitu suara yang ditimbulkan sewaktu sistem digunakan.
 - e. Keindahan, yaitu terlihat bagus atau tidaknya sistem yang sudah terakit.

Perancangan sebuah produk termasuk dalam hal pemilihan material dan prosesnya, juga perlu dipertimbangan keamanan dari penggunaan produk yang dihasilkan. Aman atau tidaknya produk ini digunakan nantinya akan berhubungan dengan prosedur awal dalam pembuatan sebuah produk adalah perancangan dan pemilihan bahan proses itu sendiri. Untuk itu seorang insinyur dapat menggunakan beberapa pertimbangan di bawah ini sebelum membuat sebuah produk:

- a. *Review the total life cycle.* Dengan memperkirakan umur produk maka dapat dihindari akibat yang ditimbulkan oleh produk itu jika masih digunakan melewati umurnya, seperti material yang bisa berubah menjadi bersifat racun dan sebagainya.
- b. *A balance approach.* Semua faktor harus dipertimbangkan kemungkinan mengakibatkan kecelakaan.
- c. *Make safety an integral feature.* Faktor keamanan produk tidak boleh ditinjau per komponen tapi merupakan satu kesatuan yang utuh yang saling mempengaruhi.
- d. Gunakan '*Fail-safe*' desain. Dengan memegang prinsip bahwa produk yang akan kita buat ini nantinya akan tidak aman, maka pertimbangan-pertimbangan yang diberikan dalam merancang dan memilih bahan serta prosesnya akan menjadi sangat ketat.
- e. *Check government standards.* Dengan mengetahui regulasi yang ada maka produk yang akan dihasilkan akan dapat bersaing baik secara domestik maupun internasional. Hal ini disebabkan produk yang dibuat sudah memenuhi standar yang ada.
- f. *Provide warnings.* Dengan memberi label untuk bagian-bagian yang berbahaya, maka konsumen akan menjadi yakin dalam hal penggunaan produk sehingga akan memberi rasa aman.

2.5 Kriteria Pemilihan Jenis Turbin Air

Ada beberapa faktor yang mendasari perencanaan dan pemilihan suatu turbin air. Faktor-faktor tersebut yang terutama antara lain adalah:

1. *Debit* aliran air

2. *Head* atau tinggi air jatuh
3. Kecepatan spesifik
4. Putaran turbin
5. Putaran pesawat yang digerakkan
6. Posisi poros turbin
7. Biaya pembangunan instalasi

Dari sekian banyak faktor tersebut di atas, yang paling menentukan adalah *debit* dan *head* aliran air. Ukuran atau dimensi turbin air sangat tergantung kepada *debit* dan *head* air ini. *Debit* air yang besar pada *head* tertentu akan memerlukan turbin air ukuran besar, sedangkan untuk *head* air yang besar pada *debit* tertentu, dimensi turbin air cenderung lebih kecil. Dengan demikian *debit* dan *head* air ini secara tidak langsung akan menentukan biaya pembuatan turbin air berikut pembangkitnya, seperti pada Gambar 2.2.

Disamping itu *debit* dan *head* air ini beserta jumlah putaran pesawat yang digerakkannya akan mempengaruhi juga dalam penentuan putaran turbin sekaligus kecepatan spesifiknya. Sedangkan kecepatan spesifik itu sendiri akan menentukan pula terhadap jenis turbin yang digunakan. Demikian juga *debit* dan *head* air ini akan menentukan juga posisi turbin, yang mana turbin-turbin dengan *debit* air yang besar biasanya mempunyai poros vertikal.

Ada beberapa faktor yang menentukan dalam pemilihan *debit* dan *head* air yang direncanakan untuk suatu pemilihan turbin. Penentuan potensi sumber air dan keadaan tanah atau topografi sekitar lokasi dan kapasitas listrik yang dibutuhkan, serta kemampuan dana yang diperlukan untuk membangun instalasinya. Kita mengenal tinggi air jatuh total (gross head = H) dan tinggi jatuh air efektif (effective head = H_{ef}). *Head* total ini adalah perbedaan ketinggian antara permukaan antara *head race* dengan *tail race*, sedangkan *effective head* adalah tinggi jatuh air total dikurangi dengan kerugian tinggi tekan akibat gesekan pada pipa pesat dan peralatan lainnya.

Seleksi awal dari jenis turbin yang cocok untuk suatu keperluan paling tepat dilakukan dengan menggunakan Kecepatan spesifik (n_s). Dalam Tabel 2.2 disajikan nilai kecepatan spesifik (n_s) untuk berbagai jenis turbin. Tabel 2.2 dapat digunakan sebagai panduan awal dalam pemilihan jenis turbin yang tepat untuk

nilai n_s tertentu. Nilai n_s yang tercantum dalam Tabel 2.2 bukan nilai yang eksak. Untuk setiap jenis turbin terdapat suatu nilai kisaran tinggi terjun dan kecepatan spesifik yang sesuai.

Tabel 2.2 Run-away speed Turbin, $N_{maks}/N^{4/3}$

Jenis Turbin	Putaran Nominal, N (rpm)	Runaway speed
<i>Semi Kaplan, single regulated</i>	75-100	2-2.4
<i>Kaplan, double regulated</i>	75-150	2.8-3.2
<i>Small-medium Kaplan</i>	250-700	2.8-3.2
<i>Francis (medium & high head)</i>	500-1500	1.8-2.2
<i>Francis (low head)</i>	250-500	1.8-2.2
<i>Pelton</i>	500-1500	1.8-2
<i>Crossflow</i>	100-1000	1.8-2
<i>Turgo</i>	600-1000	2

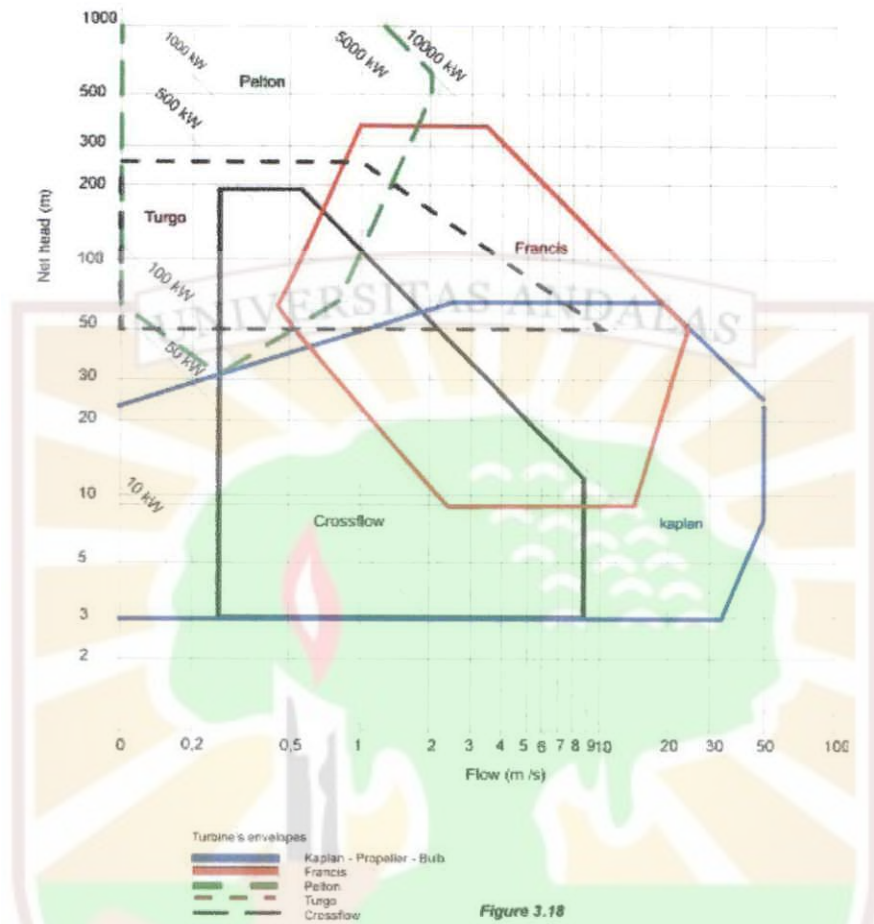
Kecepatan spesifik setiap turbin memiliki kisaran (range) tertentu berdasarkan data eksperimen. Kisaran kecepatan spesifik beberapa turbin air adalah sebagai berikut:

- Turbin *Pelton* $12 \leq N_s \leq 25$
- Turbin *Francis* $60 \leq N_s \leq 300$
- Turbin *Crossflow* $40 \leq N_s \leq 200$
- Turbin *Propeller* $250 \leq N_s \leq 1000$

Dengan mengetahui kecepatan spesifik turbin maka perencanaan dan pemilihan jenis turbin akan menjadi lebih mudah. Beberapa formula yang dikembangkan dari data eksperimental berbagai jenis turbin dapat digunakan untuk melakukan estimasi perhitungan kecepatan spesifik turbin, yaitu :

- Turbin *Pelton* (1 jet) $N_s = 85.49/H^{0.243}$ (Siervo & Lugaresi, 1978)^{/4/}
- Turbin *Francis* $N_s = 3763/H^{0.854}$ (Schweiger & Gregory, 1989)^{/4/}
- Turbin *Kaplan* $N_s = 2283/H^{0.486}$ (Schweiger & Gregory, 1989)^{/4/}
- Turbin *Cross Flow* $N_s = 513.25/H^{0.505}$ (Kpordze & Wamick, 1983)^{/4/}
- Turbin *Propeller* $N_s = 2702/H^{0.5}$ (USBR, 1976)^{/4/}

Dengan mengetahui besaran kecepatan spesifik maka dimensi dasar turbin dapat diestimasi (diperkirakan).

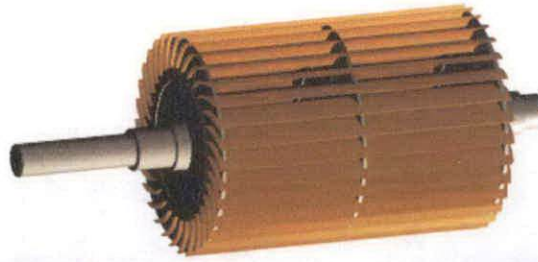


Gambar 2.2 Diagram Aplikasi berbagai jenis Turbin Air (Head Vs Debit)^{4/}

2.6 Konsep Turbin Aliran Silang

Prinsip kerja turbin ini mula-mula ditemukan oleh seorang insinyur Australia yang bernama A.G.M. Michell pada tahun 1903. Kemudian turbin ini dikembangkan dan dipatenkan di Jerman Barat oleh Prof. Donat Banki sehingga turbin ini diberi nama Turbin Banki kadang disebut juga *Turbin Michell-Ossberger* (Haimerl, L.A., 1960).

Turbin *Cross Flow* dapat dioperasikan pada *debit* 0,2 m³/s hingga 10 m³/s dan head antara 1 s/d 200 m. Sebagai suatu turbin aliran radial *atmosferik*, yang berarti bekerja pada tekanan atmosfer, turbin aliran silang menghasilkan daya dengan mengkonversikan energi kecepatan pancaran air. Meninjau karakteristik kecepatan spesifiknya, ia berada di antara turbin *Pelton* dan turbin *Francis* aliran campur.



Gambar 2.5 Runner dan sudu turbin Crossflow^{14/}

masuk) kemudian meninggalkan turbin. Runner turbin dibuat dari beberapa sudu yang dipasang pada sepasang piringan paralel, dapat dilihat pada Gambar 2.5.

2.6.1 Alur Pancaran Memintas Runner

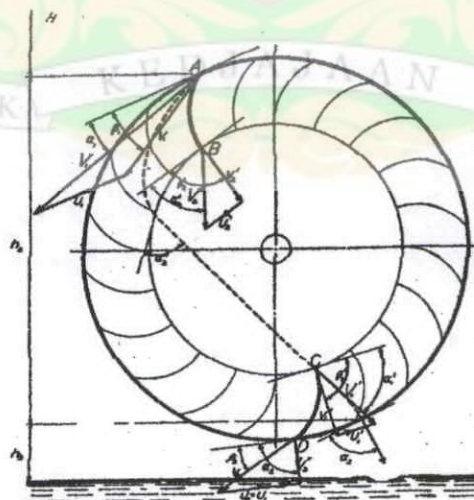
Dengan menganggap pusat pancaran memasuki runner di titik A, lihat Gambar 2.6 dan Gambar 2.7. Dengan sudut α_1 terhadap garis singgung lingkaran luar runner, kecepatan aliran sebelum masuk adalah:

$$c_1 = \phi (2gH)^{1/2} \quad (\text{m/s}) \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

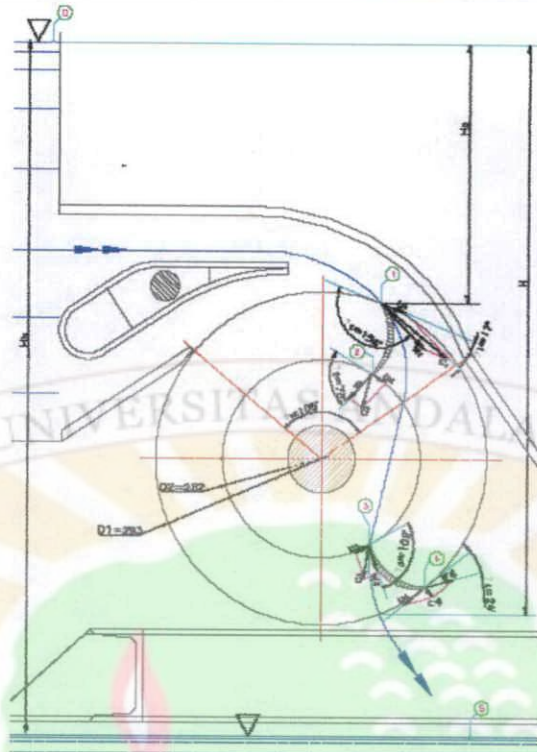
Dimana:

ϕ = koefisien, harganya tergantung nosel.

Setelah kecepatan keliling u_1 diketahui, kecepatan relatif aliran di sisi masuk w_1 dapat ditentukan. Sudut yang diapit dua kecepatan terakhir ini dinamai sudut β_1 . Agar diperoleh efisiensi maksimum, sudut-sudut di titik A harus sama dengan β_1 . Lengkung AB menunjukkan suatu sudu. Kecepatan nisbi w_2 dan kecepatan keliling u_2 di sisi ke luar, mengapit sudut β_2 di titik itu. Kecepatan mutlak aliran c_2 dapat ditentukan dari w_2 , β_2 dan u_2 . Sudut yang dibentuk oleh dua kecepatan c_2 dan u_2 adalah α_2 .



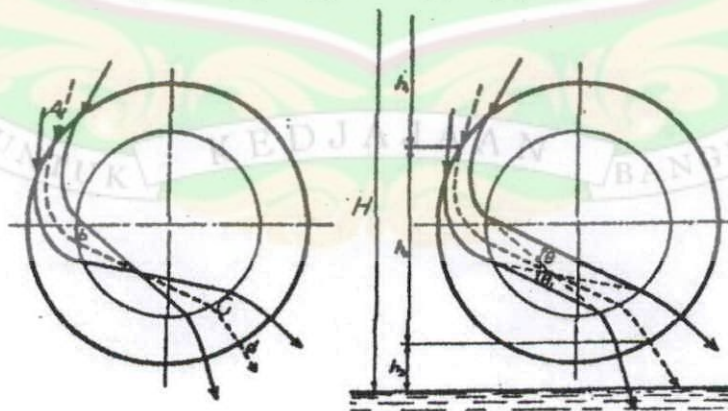
Gambar 2.6 Skema Alur Air Memintas Turbin^{2/}



Gambar 2.7 Alur Air Memintas Turbin^[5]

Alur mutlak lintasan air di atas lengkung sudu AB bisa ditentukan seperti halnya titik senyatanya tempat air meninggalkan sudu. Dengan menganggap kecepatan mutlak c_2 tidak mengalami perubahan, titik C tempat air kembali masuk rim dapat ditemukan. Di titik ini c_2 menjadi c_3 , dan alur lintasan air diatas lengkung sudu DC bisa dipastikan pula. Maka:

$$\alpha_3 = \alpha_2, \quad \beta_3 = \beta_2, \quad \beta_1 = \beta_4$$



Gambar 2.8 Persilangan Aliran Memintas Turbin^[2]

Karena semua sudut itu saling berkaitan pada sudu yang sama. Tentu tidak keseluruhan pancaran dapat mengikuti alur mutlak ini, beberapa alur partikel air cenderung saling bersilangan di dalam *runner* seperti tampak pada Gambar 2.8.

Gambar ini memperlihatkan pendekatan keadaan sebenarnya. Sudut-sudut perpotongan θ dan θ_1 mencapai maksimum di masing-masing sisi terluar pancaran.

2.6.2 Efisiensi dan Daya Turbin

Efisiensi turbin air tidak tetap nilainya, tergantung dari keadaan beban dan jenis turbinnya. Kinerja dari suatu turbin air dapat dinyatakan dalam beberapa keadaan, yaitu tinggi terjun maksimum, tinggi terjun minimum, tinggi terjun normal, dan tinggi terjun rancangan. Pada tinggi terjun rancangan turbin air akan memberikan kecepatan terbaiknya sehingga efisiensinya mencapai maksimum.

Rumus daya mekanis:

$$P = \left(\frac{WQ}{g} \right) (c_1 \cos \alpha_1 + c_4 \cos \alpha_1) u_1 \quad (\text{kgm/det}) \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

Menggunakan hubungan dalam segitiga kecepatan (Gambar 2.13), rumus di atas dapat disederhanakan.

$$c_4 \cos \alpha_4 = w_4 \cos \beta_4 - u_1 \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan mengabaikan kenaikan kecepatan air akibat selisih elevasi h_2 , lihat Gambar 2.10 dan Gambar 2.12, yang kebanyakan kecil saja, maka:

$$w_4 = \psi w_1 \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

$$\psi = \text{koefisien empiris lebih kecil dari satu (sekitar } 0,98)^{1/2}$$

Dari segitiga kecepatan pada Gambar 2.9 diperoleh hubungan:

$$w_1 = \frac{c_1 \cos \alpha_1 - u_1}{\cos \beta_1} \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

Memasukkan persamaan 2.3, 2.4 dan 2.5 ke dalam 2.2 dihasilkan:

$$P_o = \left(\frac{WQ u_1}{g} \right) (c_1 \cos \alpha_1 - u_1) \left(1 + \psi \frac{\cos \beta_4}{\cos \beta_1} \right) \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

Kita mengenal daya turbin teoritis atau *available horse power* (P_w) dan daya turbin efektif atau *brake horse power* (P_t). Besarnya daya masukan teoritis (P_w) dan keluaran (P_t) akibat tinggi terjun H adalah :

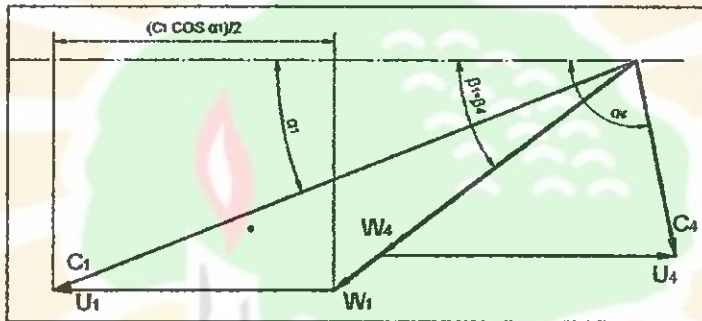
$$\left. \begin{aligned} P_w &= \rho_a \cdot g \cdot H \cdot Q \\ P_t &= P_w \cdot \eta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.7)$$

Efisiensi, e adalah sama dengan angka perbandingan antara daya keluar dan masuk:

$$e = \left(2\phi^2 \frac{u_1}{c_1} \right) \left(1 + \psi \frac{\cos \beta_4}{\cos \beta_1} \right) \left(\cos \alpha_1 - \frac{u_1}{c_1} \right) \dots\dots\dots(2.8)$$

Bila $\beta_1 = \beta_4$, maka:

$$e = \left(2\phi^2 \frac{u_1}{c_1} \right) (1 + \psi) \left(\cos \alpha_1 - \frac{u_1}{c_1} \right) \dots\dots\dots(2.9)$$



Gambar 2.9 Segitiga Kecepatan^[2]

Menganggap semua variabel sebagai konstan kecuali efisiensi dan u_1/c_1 , maka mendefereensialkan persamaan 2.9 dan menyamakannya dengan nol akan memberikan hasil :

$$\frac{u_1}{c_1} = \frac{\cos^2 \alpha_1}{2} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dan efisiensi maksimumnya adalah sebesar :

$$e_{\max} = \phi^2 (1 + \psi) \left(\frac{\cos^2 \alpha_1}{2} \right) \dots\dots\dots(2.11)$$

Patut menjadi perhatian, bahwa apabila $u_1 = (c_1 \cos \alpha_1)/2$ maka arah c_4 tidaklah radial, seperti terlihat pada Gambar 2.9, aliran ke luar *runner* berarah radial dengan,

$$u_1 = \frac{\phi}{1 + \psi} c_1 \cos \alpha_1 \dots\dots\dots(2.12)$$

Hanya bila ϕ dan ψ berharga sama dengan satu, yakni dianggap tidak terjadi kerugian tinggi terjun akibat gesekan di nosel atau sudu-sudu.

$$t = \frac{s_0}{\sin \beta_1} \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

Dan jumlah sudu :

$$z = \frac{\pi.D_1}{t} \quad \dots\dots\dots(2.15)$$

Karena efisiensi nosel bervariasi dalam kuadrat suatu konstanta, perlu sangat berhati-hati untuk menghindari terjadi kerugian disini. Terdapat rugi-rugi *hidrolis* saat air menghantam lingkaran luar dan dalam *runner*. Kerugian yang disebutkan terakhir, menurut perhitungan yang akan dilakukan nanti hanyalah kecil. Tebal pancaran semula s_0 , seperti terlihat pada Gambar 2.11, meningkat sampai 190 persen yang berarti sekitar 72 persen dari seluruh energi diserahkan sewaktu air mengenai sudu dari arah luar, dan 28 persen masih terbawa aliran sebelum mengenai sudu dari lingkaran dalam *runner*¹¹. Apabila jumlah sudu benar, cukup tipis serta sehalus mungkin, maka dapat diperoleh harga konstanta ψ sampai sebesar 0.98.

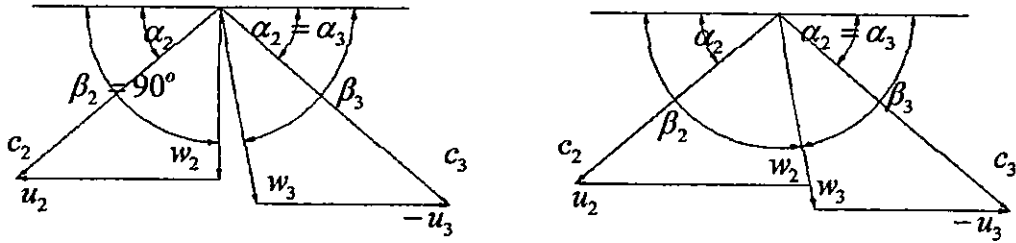
2.6.3 Bentuk Konstruksi

2.6.3.1 Sudut Sudu

Sudut sudu β_1 ditentukan dari α_1, c_1 dan u_1 pada Gambar 2.6 dan 2.9. Apabila $u_1 = (c_1 \cos \alpha_1) / 2$ maka,

$$\tan \beta_1 = 2 \tan \alpha_1 \quad \dots\dots\dots(2.16)$$

Sudut antara sudu di lingkaran dalam dengan garis singgung terhadapnya, β_2 , ditentukan dengan cara berikut. Gambarkan kedua segitiga kecepatan di lingkaran dalam bersama-sama, dengan memindahkan kedua sudu sedemikian hingga titik B menyatu dengan titik C dan garis singgungnya berhimpit. Dengan menganggap kecepatan mutlak aliran ke luar sudu dan yang masuk ke sudu seberangnya sama ($c_2 = c_3$) dan karena $\alpha_2 = \alpha_3$, maka kedua segitiga tadi sama dan sebangun, serta w_2 dan w_3 mempunyai arah yang sama, dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.12 Diagram-diagram Kecepatan^{2/}

Dianggap di titik C tidak terjadi rugi kejut maka $\beta_2 = 90^\circ$, yang berarti ujung dalam sudu harus radial^{1/}. Memperhitungkan beda elevasi antara kedua titik B dan C (tempat ke luar dan masuk kembali di lingkaran dalam runner), bila tidak ada kerugian terjadi di sini, seharusnya c_3 tidak sama dengan c_2 .

$$c_3 = [2gh_2 + c_2^2]^{1/2} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dengan menganggap $\beta_2 = 90^\circ$, seperti terlihat pada Gambar 2.12, w_3 tidak akan berhimpit dengan sudut sudu dan oleh karenanya akan timbul kerugian kejut^{1/}. Untuk menghindarinya, β_2 harus lebih besar dari 90° . Selisih antara c_2 dan c_3 biasanya kecil karena h_2 kecil, sehingga β_2 dalam banyak hal boleh saja diambil 90° ^{1/}.

2.6.3.2 Lebar Lingkaran Sudu

Dengan mengabaikan tebal sudu, tebal pancaran air masuk, s_1 diukur dari arah tegak lurus terhadap kecepatan nisbi, seperti pada Gambar 2.10 ditentukan oleh jarak antar sudu, t .

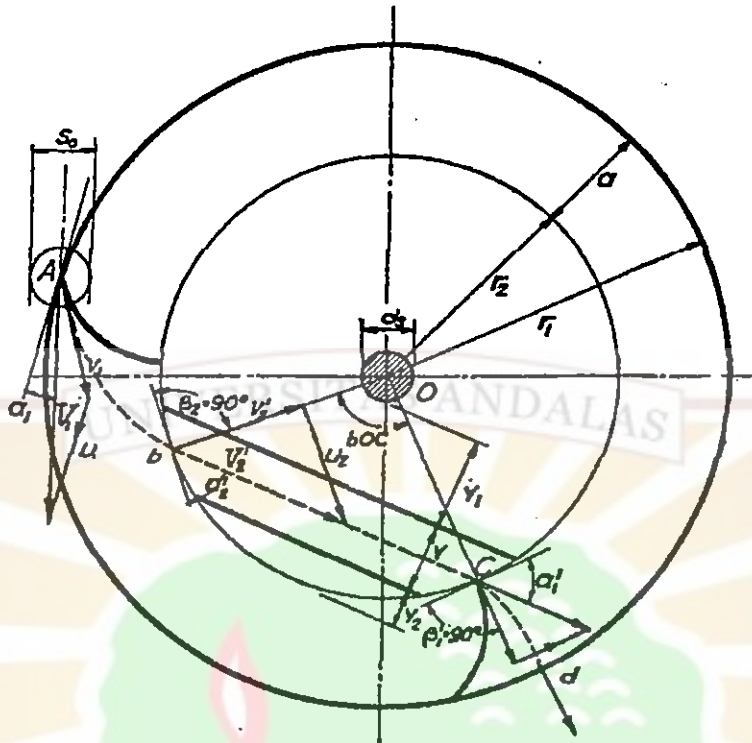
$$s_1 = t \sin \beta_1 \dots\dots\dots (2.18)$$

Menganggap $\beta_2 = 90^\circ$ maka jarak sudu di lingkaran dalam runner, s_2 , untuk setiap lebar lingkaran sudu atau lebar rim, a , adalah:

$$s_2 = t (R_2/R_1) \dots\dots\dots (2.19)$$

Selama a cukup kecil, ruang antar sudu tidak akan seluruhnya terisi oleh pancaran air. Demikian a meningkat, s_2 akan berkurang, oleh karenanya untuk menentukan harga a sebaiknya mempertimbangkan batas berikut:

$$s_2 = s_1 (w_1/w_2) \dots\dots\dots (2.20)$$



Gambar 2.13 Alur Pancaran Dalam Runner^[2]

Memperbesar lebar lingkaran sudu a melampaui batas ini sebaiknya dihindari karena aliran air sulit melalui luasan penampang lorong yang sedemikian sempit, yang mungkin bahkan menyebabkan timbulnya tekanan balik. Selain itu, lebar lingkaran sudu yang kurang dari batas di atas juga kurang efisien karena pancaran air akan mengalir ke luar begitu saja melalui sela antar sudu di lingkaran dalam *runner* (penyerahan energi kecil). Untuk menetapkan lebar a , w_2 yang dipengaruhi oleh gaya sentrifugal (lihat Gambar 2.10) perlu diketahui lebih dulu.

$$\begin{aligned}
 w_1^2 - w_2^2 &= u_1^2 - u_2^2 \\
 w_2^2 &= u_2^2 - u_1^2 + w_1^2
 \end{aligned}
 \tag{2.21}$$

Padahal,

$$\begin{aligned}
 w_2 &= w_1 (s_1/s_2) \\
 &= w_1 (R_1/R_2) \sin \beta_1
 \end{aligned}
 \tag{2.22}$$

Dan, $u_2 = u_1 (R_2/R_1)$ serta diambil

$x = (R_2/R_1)^2$, maka

$$x^2 - \{1 - (w_1/u_1)^2\}x - (w_1/u_1)^2 \sin^2 \beta_1 = 0
 \tag{2.23}$$

Apabila kecepatan keliling *runner* yang ideal adalah $u_1 = (c_1 \cos \alpha_1)/2$ maka,

$$w_1/u_1 = 1/\cos \beta_1 \quad \dots\dots\dots (2.24)$$

Oleh sebab itu, lebar lingkaran sudu atau lebar *rim*, a ditentukan berdasar rumus:

$$a = 0,17 D_1 \quad \dots\dots\dots (2.25)$$

Secara grafis lebar *rim* ini dapat diketahui dari perpotongan dua buah lengkung pada Gambar 2.10:

$$w_2^2 = u_2^2 - u_1^2 + w_1^2$$

$$w_2^2 = w_1 (R_1/R_2) \sin \beta_1 \quad \dots\dots\dots (2.26)$$

Sudut pusat bOC dengan melihat Gambar 2.13 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.21) dan,

$$\alpha_2 = \text{separuh sudut bOC} \quad \dots\dots\dots (2.27)$$

$$w_1 = u_1/\cos \beta_1$$

$$\tan \alpha_2 = w_2/u_2 \quad \dots\dots\dots (2.28)$$

Tebal pancaran di dalam *runner*, y (Gambar 2.13), dihitung dengan menggunakan persamaan kontinuitas aliran,

$$c_1 s_0 = c_2 y \quad \dots\dots\dots (2.29)$$

$$c_2 \cos \alpha_2 = u_2 = u_1 (R_2/R_1) = (R_2/R_1) \cos \alpha_1 / 2$$

$$y = \frac{s_0 \cos \alpha_2}{(R_2 / R_1) \cos \alpha_1} \quad \dots\dots\dots (2.30)$$

Harga-harga kedua sudut dan perbandingan jari-jari dimasukkan ke dalam persamaan 2.30 sehingga dihasilkan,

$$y = 1,89 s_0 \quad \dots\dots\dots (2.31)$$

Jarak antara sisi dalam pancaran sewaktu melintas di dalam *runner* ke poros turbin, y_1 (lihat Gambar 2.13) adalah:

$$y_1 = -((R_2 \sin (90^\circ - \alpha_2) - (1,89 s_0)/2) \quad \dots\dots\dots (2.32)$$

karena $s_0 = k D_1$

$$y_1 = -((0,1986 - 0,945 k) D_1)$$

Dengan cara sama, jarak antara sisi luar pancaran dengan lingkaran dalam *runner*, y_2 juga tertentu:

$$y_2 = (0,1314 - 0,945 k) D_1 \quad \dots\dots\dots (2.33)$$

Dalam hal poros tidak memanjang menembus *runner*, parameter y_2 menjadi batasan satu-satunya. Sehingga,

$$y_1 + d_s/2 = 0,128 D_1 \text{ sampai } 0,104 D_1$$

$$y_2 = 0,0606 D_1 \text{ sampai } 0,0369 D_1$$

2.6.3.3 Diameter dan Panjang Runner

Diameter luar *runner* dihitung dengan memakai rumus sebagai berikut:

$$u_1 = \pi D_1 N / 60 \dots\dots\dots (2.34)$$

$$\pi D_1 N / 60 = (c_1 \cos \alpha_1) / 2 = \{ \phi (2gH)^{1/2} \cos \alpha_1 \} / 2$$

$$D_1 = 30 \phi (2gH)^{1/2} (\cos \alpha_1) / \pi N \dots\dots\dots (2.35)$$

Tebal pancaran, s_o pada nosel ditentukan berdasar pemaduan atas dua persyaratan berikut. s_o besar di satu pertimbangan mungkin menguntungkan karena kerugian yang timbul saat pengisian dan pengosongan *runner* akan kecil.

Panjang *runner* dihitung dengan rumus:

$$Q = (s_o b_o) \{ \phi (2gH)^{1/2} \} \quad (m^3/det) \dots\dots\dots (2.36)$$

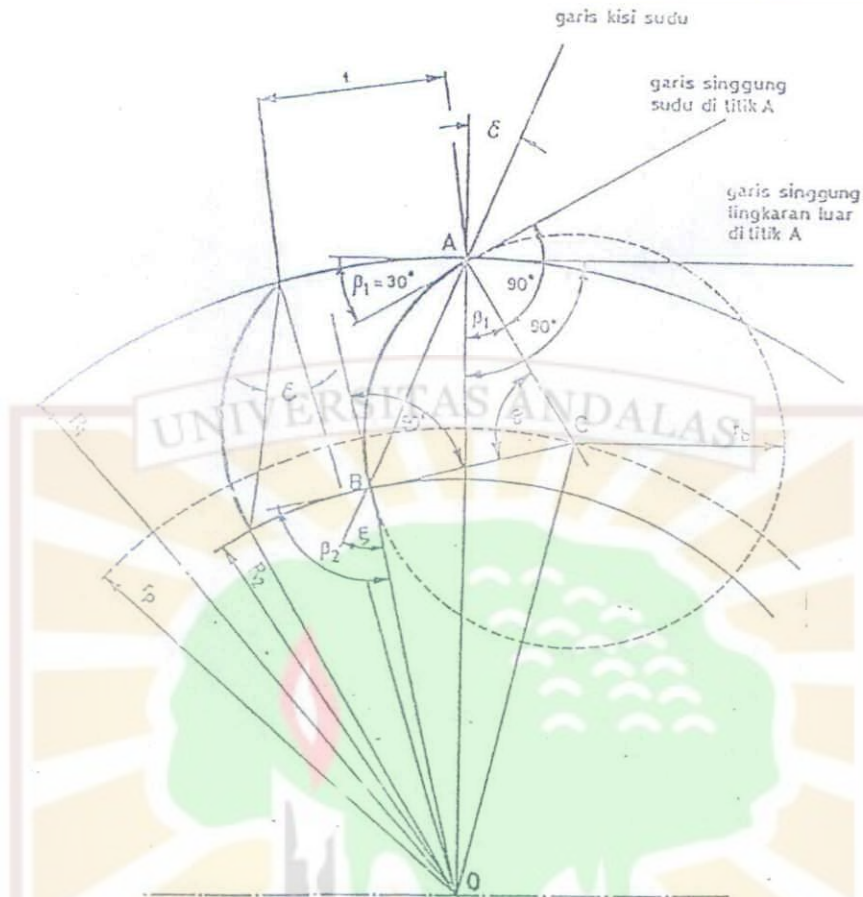
Memasukkan, $s_o = k D_1$; $D_1 = 39,85 H^{1/2}/n$ dan $k = 0,075$ sampai $0,10$ kedalam persamaan (2.37) dihasilkan:

$$b_o = 0,077 \phi Qn/H \text{ sampai } 0,058 Qn/H \dots\dots\dots (2.37)$$

2.6.3.4 Kelengkungan Sudu

Lengkung sudu dapat dipilih dari suatu lingkaran yang pusatnya terletak di perpotongan dua garis, sebuah tegak lurus terhadap kecepatan *nisbi* w_1 di titik A dan sebuah lainnya adalah garis singgung terhadap lingkaran dalam *runner* di titik B. Pada Gambar 2.14 tampak dua buah segitiga AOC dan BOC berimpit pada rusuk CO maka,

$$\begin{aligned} AO &= R_1 \\ OB &= R_2 \\ AC &= BC = r_b \\ &= [(R_1)^2 - (R_2)^2]^{1/2} / 2R_1 \cos \beta_1 \dots\dots\dots(2.38) \end{aligned}$$



Gambar 2.14 Kelengkungan Sudu^{IV}

2.6.3.5 Geometri Sudu

Untuk memungkinkan perancangan *runner* dengan benar, geometri sudu harus ditentukan. Dalam pelaksanaannya, besaran-besaran berikut ditetapkan atas dasar pertimbangan *hidrolis* dan segitiga-segitiga kecepatan yang diinginkan.

R_1 = jari-jari lingkaran luar *runner*

R_2 = jari-jari lingkaran dalam *runner*, tempat kedudukan salah satu ujung kerangka sudu

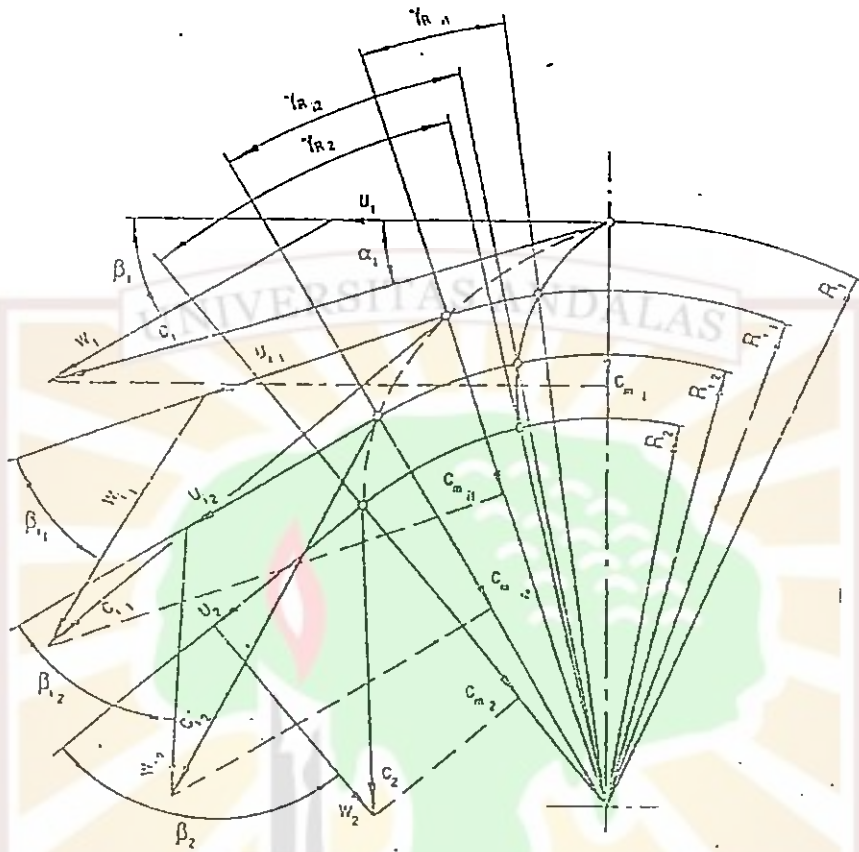
β_1 = sudut sudu sisi masuk

β_2 = sudut sudu sisi ke luar

Sumbu penampang lintang atau garis kerangka sudu merupakan bagian dari lingkaran, seperti lazimnya pada turbin aliran silang (Cross Flow). Parameter geometris lainnya adalah :

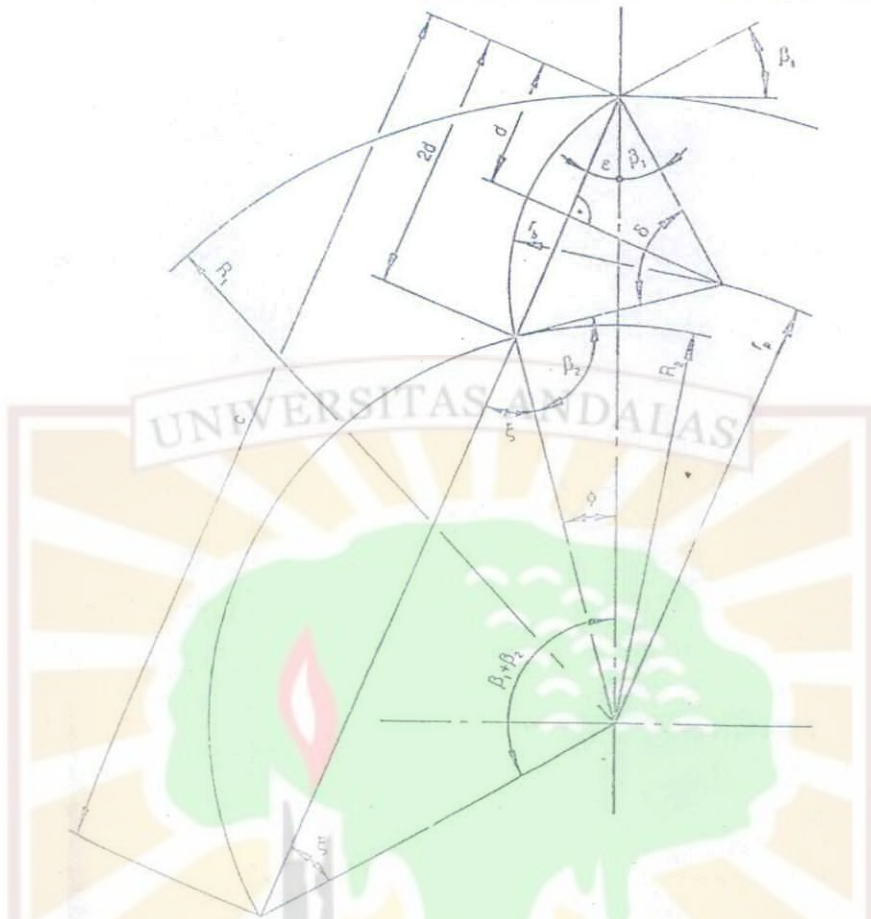
r_b = jari-jari kelengkungan sudu

- r_p = jari-jari lingkaran tusuk
 δ = sudut kelengkungan sudu



Gambar 2.15 Rancangan Alur Aliran Mutlak di Tingkat Pertama Runner¹¹

Untuk menyatakan hubungan geometris antara besaran-besaran R_1 , R_2 , β_1 dan β_2 dengan r_b , r_p dan δ diperlukan adanya parameter tambahan lain seperti tampak pada Gambar 2.16 yaitu ε , ζ , ϕ , c dan d . Gambar tersebut juga memberikan penyelesaian grafis atas persoalan: sudut $(\beta_1 + \beta_2)$ yang digambarkan dari pusat *runner* sedemikian hingga satu sisi pengapitnya memotong jari-jari R_1 sedang sisi lainnya memotong R_2 . Garis penghubung kedua titik potong tadi mempunyai panjang c . garis ini memotong lingkaran berjari-jari R_2 sepanjang $2d$ dari titik potongnya dengan lingkaran luar *runner*. Menarik garis bagi atas jarak $2d$ ini menghasilkan garis tempat kedudukan pusat kelengkungan sudu r_b . Titik pusat kelengkungan sudu didapatkan merupakan titik potong antara garis bersudut β_1 yang ditarik dari titik potong atas lingkaran berjari-jari R_1 dengan garis bagi tersebut tadi. pusat jari-jari sudu terletak sejauh jari-jari lingkaran tusuk r_p dari sumbu *runner*.



Gambar 2.16 Konstruksi Geometri Sudu^[1]

Jari-jari r_b digambarkan sampai juga memotong lingkaran dalam runner berjari-jari R_2 . Bila kedua titik potong di kedua lingkaran runner dihubungkan berturut-turut dengan pusat jari-jari r_b dan sumbu runner diperoleh sudut δ dan ϕ . Dengan demikian sudut lainnya pun dapat dibuat seperti tampak pada gambar di atas. Rumus-rumus berikut disusun dengan urutan yang diperlukan untuk menghitung harga r_b , r_p dan δ berdasarkan besaran R_1 , R_2 , β_1 dan β_2 yang sudah diketahui. Konstruksi grafis geometri sudu dapat digunakan untuk memeriksa harga-harga besaran hasil perhitungan.

$$c = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2R_1R_2 \cos(\beta_1 + \beta_2)} \quad \dots\dots\dots(2.39)$$

$$\varepsilon = \arcsin \left[\frac{R_2 \sin(\beta_1 + \beta_2)}{c} \right] \quad \dots\dots\dots(2.40)$$

$$\xi = 180^\circ - (\beta_1 + \beta_2 + \varepsilon) \quad \dots\dots\dots(2.41)$$

$$\phi = (\beta_1 + \beta_2) - (180^\circ - 2\xi) \dots\dots\dots(2.42)$$

$$d = \frac{R_1 \sin \phi}{2 \sin(180^\circ - \xi)} \dots\dots\dots(2.43)$$

$$\delta = 180^\circ - 2(\beta_1 + \varepsilon) \dots\dots\dots(2.44)$$

$$r_b = \frac{d}{\cos(\beta_1 + \varepsilon)} \dots\dots\dots(2.45)$$

$$r_p = \sqrt{r_b^2 + R_1^2 - 2r_b R_1 \cos \beta_1} \dots\dots\dots(2.46)$$

2.6.3.6 Panjang Busur dan Luas Pemasukan

Luas pemasukan hasil kali lebar runner, b_o dengan panjang busur pemasukan L .

$$A = b_o L \dots\dots\dots(2.49)$$

L ditentukan oleh busur pemasukan, ϕ ($^\circ$), dan diameter runner $D_1 = 2 R_1$.

$$L = \frac{2 R_1 \pi \phi}{360^\circ} \dots\dots\dots(2.50)$$

Dengan tinggi terjun tertentu, luas pemasukan tergantung kepada kebutuhan debit aliran.

$$Q = A \cdot v \dots\dots\dots(2.51)$$

Dimana:

Q = debit air masuk turbin (m^3/det)

A = luas pemasukan aliran (m^2)

v = kecepatan aliran (m/det), tegak lurus terhadap luasan pemasukan.

Komponen kecepatan yang berarah tegak lurus terhadap luasan pemasukan adalah komponen kecepatan mutlak di arah bujur, c_m . Sehingga dengan demikian maka:

$$Q = A \cdot c_m \dots\dots\dots(2.52)$$

Komponen kecepatan di arah bujur ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$c_m = c \cdot \sin \alpha \dots\dots\dots(2.53)$$

Di mana:

c = kecepatan mutlak

α = sudut kecepatan mutlak

Bila kecepatan pancar bebas, dengan mengabaikan kerugian tinggi terjun akibat gesekan aliran, menggantikan kecepatan mutlak, maka:

$$c = \sqrt{2gH} \quad \text{.....(2.54)}$$

Dimana:

g = percepatan gravitasi (m^2/det)

H = tinggi terjun bersih (m)

Dengan menggunakan hubungan tersebut di atas, maka *debit* air masuk turbin dapat dinyatakan dengan:

$$Q = A \cdot c_m$$

$$Q = b_o \cdot L \cdot c_m$$

$$Q = \frac{b_o \cdot 2 \cdot R_1 \cdot \pi \cdot \phi^\circ \cdot c_m}{360^\circ}$$

$$Q = \frac{b_o \cdot 2 \cdot R_1 \cdot \pi \cdot \phi^\circ \cdot c \cdot \sin \alpha_1}{360^\circ}$$

$$Q = \frac{b_o \cdot 2 \cdot R_1 \cdot \pi \cdot \phi^\circ \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \cdot \sin \alpha_1}{360^\circ} \quad \text{.....(2.55)}$$

Persamaan (2.55) ini menurut semua besaran yang berpengaruh terhadap *debit* aliran masuk turbin, yaitu:

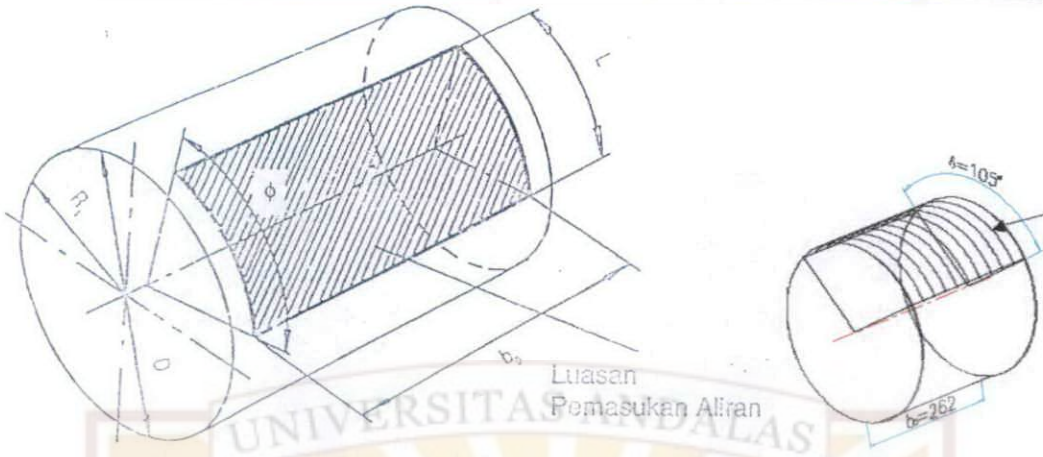
b_o = lebar pemasukan

R_1 = jari-jari *runner*

ϕ = sudut busur pemasukan

$H^{1/2}$ = akar tinggi terjun *netto*

$\sin \alpha_1$ = *sinus* sudut kecepatan mutlak di sisi masuk *runner*



Gambar 2.17 Luasan Pemasukan Aliran Turbin Aliran Silang^{1/1}

2.6.4 Korelasi Antar Turbin

Untuk mendapatkan korelasi beberapa turbin, maka setiap turbin tersebut harus homologous satu sama lain. Untuk turbin yang homologous satu sama lain (antara model dengan prototipe), maka nilai setiap konstanta turbin yang dijelaskan di atas untuk masing-masing turbin adalah sama. Untuk memudahkan pembahasan selanjutnya, didefinisikan rasio antara variabel pada Turbin 1 dan Turbin 2 yang homologous sebagai berikut:

$$(\text{Variabel})_r = \frac{(\text{Variabel})_1}{(\text{Variabel})_2} \dots\dots\dots(2.56)$$

Korelasi antara dua buah turbin homologous sebagai berikut:

Berdasarkan kecepatan spesifiknya, Kecepatan spesifik (n_s) adalah kecepatan putar turbin yang menghasilkan daya sebesar satu satuan daya pada tinggi terjun (H_{netto}) satu satuan panjang dengan satuan rotasi per menit (rpm). Dalam banyak hal, dengan mengandalkan penggunaan rumus kecepatan spesifik (n_s), pemilihan jenis turbin dapat dilakukan.

$$n_s = N \cdot H^{-5/4} \left(1,36 P_{[kW]} \right)^{1/2} = 1,166 N H^{-5/4} P_{[kW]}^{1/2} \text{ (rpm)} \dots\dots\dots(2.57)$$

Maka :

$$(n_s)_m = (n_s)_p \dots\dots\dots(2.58)$$

Sedangkan kecepatan spesifik metrik (N_s) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan,

$$N_s = 0,86 n_s \dots\dots\dots(2.59)$$

Berdasarkan hubungan antara *debit* aliran air (Q), putaran turbin (N), dan diameter *runner* turbin air (D), adalah :

$$\left(\frac{Q}{N D_1^3} \right)_m = \left(\frac{Q}{N D_1^3} \right)_p \dots\dots\dots(2.60)$$

Berdasarkan hubungan antara daya turbin air (P), efisiensi turbin air (η), putaran turbin (N), dan diameter *runner* turbin air (D), adalah :

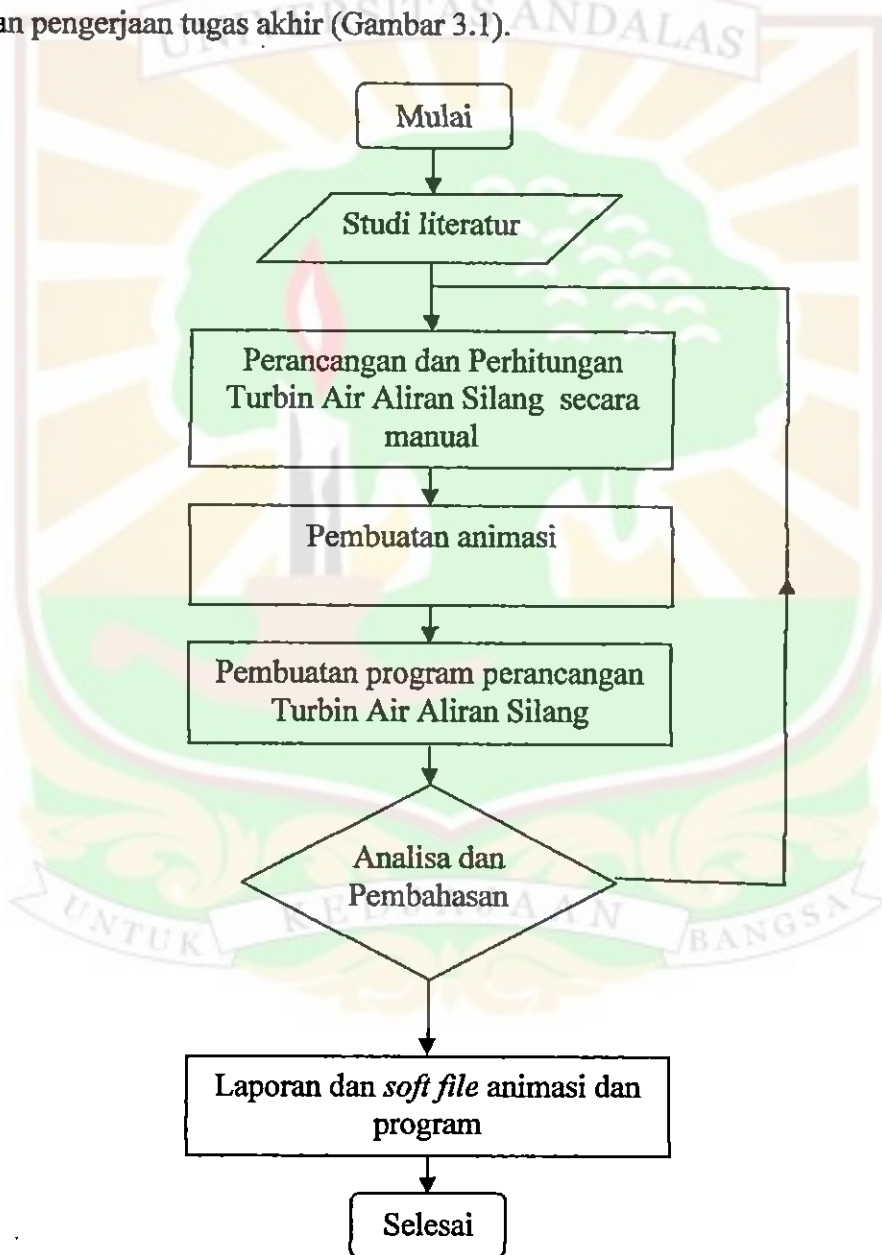
$$\left(\frac{P}{\eta N^3 D_1^5} \right)_m = \left(\frac{P}{\eta N^3 D_1^5} \right)_p \dots\dots\dots(2.61)$$



BAB III

METODOLOGI

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, dilakukan beberapa tahapan proses, yaitu: Perancangan Turbin Air Aliran Silang dengan perhitungan secara manual, pembuatan animasi, dan pembuatan program perancangan Turbin Air Aliran Silang. Adapun tahapan proses pengerjaan ini dapat dilihat pada *flowchart* tahapan pengerjaan tugas akhir (Gambar 3.1).



Gambar 3.1 *Flowchart* tahapan pengerjaan tugas akhir.

3.1. Perancangan Turbin Air Aliran Silang Secara Manual

3.1. 1 Konsep Perancangan

Konsep Rancangan merupakan dasar pemikiran dan pertimbangan-pertimbangan semua bidang terkait (baik struktur, mekanikal, elektrik, dan/atau bidang keahlian lain bila diperlukan) yang melandasi perwujudan gagasan rancangan yang menampung semua aspek, kebutuhan, tujuan, biaya, dan kendala proyek.

3.1. 2 Spesifikasi Rancangan

Spesifikasi rancangan turbin yang direncanakan adalah :

- Debit air, $Q = 0,35 \text{ m}^3/\text{s}$
- Tinggi jatuh air, $H = 45 \text{ m}$
- Diameter *runner*, $D_1 = 0,3 \text{ m}$

3.1. 3 Definisi Komponen

Komponen-komponen turbin meliputi :

- *Runner* atau roda turbin bagian utama dari turbin yang berfungsi untuk merubah tenaga potensial dan tenaga kinetis aliran air menjadi tenaga mekanis yang berupa putaran poros. Roda turbin ini terdiri dari bagian *hub* dimana sejumlah sudu-sudu gerak dipasang pada sekelilingnya. *Hub* ini dipasang pada poros dengan sebuah pasak memanjang dan mur pengikat. Poros, kopling dan *pulley* adalah bagian dari *rotor* turbin yang berfungsi untuk mentransmisikan daya, sedangkan roda gaya untuk meratakan putaran turbin. *Runner* turbin dibuat dari beberapa sudu yang dipasang pada sepasang piringan paralel, seperti terlihat pada Gambar 2.5.
- *Rumah turbin*. Kotak besi pelat yang berfungsi sebagai pembatas ruang gerak dan pengarah pipa aliran dan pengaku pipa pesat turbin Air yang mengalir dengan kapasitas tertentu disalurkan diketinggian tertentu menuju rumah turbin. Di rumah turbin air tersebut akan menumbuk turbin dimana turbin sendiri dipastikan akan menerima energi air tersebut dan mengubahnya menjadi energi mekanik berupa berputarnya poros turbin. Poros yang berputar tersebut kemudian ditransmisikan ke generator

3.1. Perancangan Turbin Air Aliran Silang Secara Manual

3.1.1 Konsep Perancangan

Konsep perancangan merupakan dasar perancangan dan pertimbangan-pertimbangan semua bidang terkait (baik struktur, mekanikal, elektrikal, dan lain-lain) yang berkaitan lain bisa dibetulkan) yang mendasari perwujudan gagasan rancangan yang mencakup semua aspek, kebutuhan riil, biaya, dan kendala proyek.



3.1.2 Spesifikasi Rancangan

Spesifikasi rancangan turbin yang ditunjukkan adalah :

- Daya air $Q = 0,32 \text{ m}^3/\text{s}$
- Tinggi jatuh air $H = 42 \text{ m}$
- Diameter runner $D_1 = 0,3 \text{ m}$

3.1.3 Detail Komponen

Komponen-komponen turbin meliputi :

- **Kawar atau roda turbin bagian atas turbin yang berfungsi untuk** menerima tenaga potensial dan tenaga kinetik aliran air menjadi tenaga mekanis yang berupa putaran poros. Roda turbin ini terdiri dari bagian yang dinamakan sejumlah sudu-sudu gerak seketidungannya. Air ini dipasangi pada poros dengan sebatang pasak menampung dan menyalurkan tenaga kopling dan daya adalah bagian dari roda turbin yang berfungsi untuk mentransmisikan daya, sedangkan roda gaya untuk mentransmisikan putaran turbin. Kawar turbin dapat berupa sudu yang dipasangi pada sebatang pinion pasak, seperti terlihat pada Gambar 3.2.

- **Kawar turbin** Kawar besi pelat yang berfungsi sebagai penutup atas yang gerak dan bergerak pipa aliran dan penutup pipa besar turbin. Air yang mengalir dengan kapasitas tertentu disalurkan diketinggian tertentu menuju rumah turbin. Di rumah turbin air tersebut akan meniadakan turbin. Turbin sendiri dipasokkan akan menerima energi air tersebut dan mengubahnya menjadi energi mekanik berupa putarannya poros turbin. Poros yang berputar tersebut kemudian ditransmisikan ke generator.

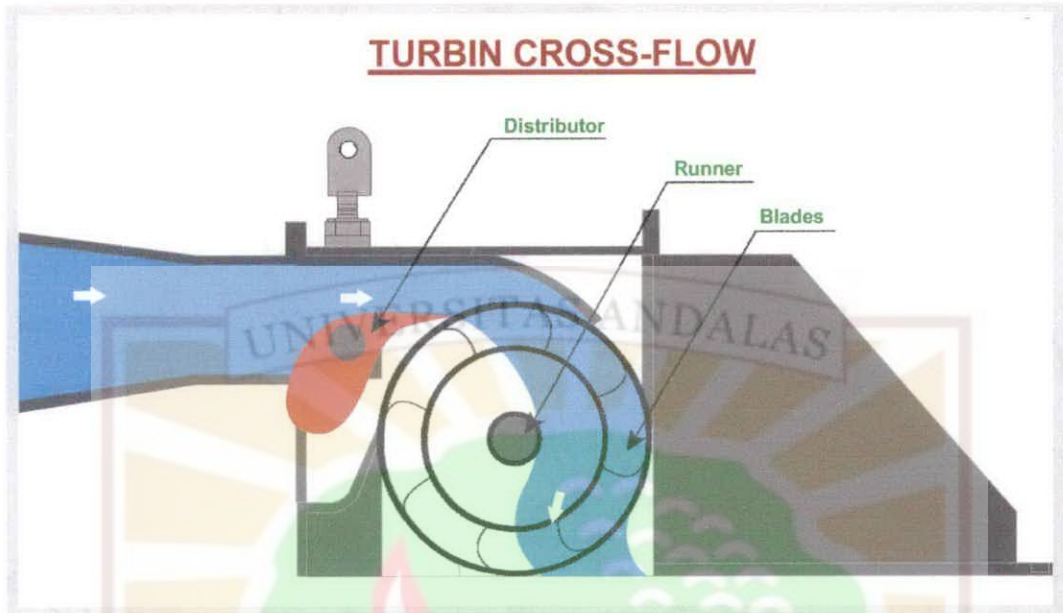
dengan menggunakan kopling. Dari generator akan dihasilkan energi listrik yang akan masuk ke sistem kontrol arus listrik sebelum dialirkan ke rumah-rumah atau keperluan lainnya (beban).

- *Sudu*. Berupa plat-plat baja berbentuk lengkung yang bagian ujung-ujungnya dirangkai pada piring bulat perletakan sudu-sudu dengan pengelasan sehingga membentuk silinder sudu
- *Piring sudu-sudu*. Berupa piringan baja pipih berbentuk bulat yang diberi celah alur untuk penempatan daun sudu-sudu dan lubang bulat di bagian tengah untuk penempatan pipa sebagai poros silinder sudu; piring sudu-sudu ditempatkan pada poros silinder sudu-sudu dengan pengelasan.
- *Poros turbin*. Merupakan poros tempat berputarnya sudu-sudu turbin yang dihubungkan ke generator listrik.

3.1. 4 Analisa Perhitungan

Perhitungan besaran-besaran yang akan dihitung meliputi:

- Daya Turbin (Sub Bab 3.2.1)
- Segi Tiga Kecepatan (Sub Bab 3.2.2)
- Perencanaan Dinding *Runner* (Sub Bab 3.2.3)
- Perencanaan Sudu (Sub Bab 3.2.4)
- Panjang Busur dan Luas Pemasukan (Sub Bab 3.2.5)



Gambar 3.2 Animasi Turbin Cross-Flow

3.2 Perhitungan Turbin Air Aliran Silang Secara Manual

3.2. 1 Daya Turbin

Turbin yang dirancang dalam tugas akhir ini adalah prototipe dari turbin air aliran silang (*Crossflow*) yang mempunyai data teknik sebagai berikut:

- Debit air, $Q = 0,35 \text{ m}^3/\text{s}$
- Tinggi jatuh air, $H = 45 \text{ m}$
- Diameter runner, $D_1 = 0,3 \text{ m}$

Dari data di atas dapat dihitung daya turbin (P_t), putaran turbin (N) dan kecepatan spesifik (n_s) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P_w &= \rho_a \cdot Q \cdot H \cdot g & (2.7) \\
 &= 1000 \times 0,35 \times 45 \times 9,81 \\
 &= 154507,5 \text{ Watt} \\
 &= 154,507 \text{ kWatt}
 \end{aligned}$$

Dimana : ρ_a = massa jenis air = 1000 kg/m^3
 g = percepatan gravitasi = $9,81 \text{ m/s}^2$

$$\begin{aligned}
 P_t &= P_w \cdot \eta & (2.7) \\
 &= 154,507 \times 0,76 \\
 &= 117,426 \text{ kWatt}
 \end{aligned}$$

Dimana : η = efisiensi turbin, (berdasarkan Sub-Bab 2.6.2 hal.18 maka diambil efisiensi sebesar 0,76).

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{30 \cdot \phi \cdot (2 \cdot g \cdot H)^{1/2} \cdot \cos \alpha_1}{\pi \cdot D_1} & (2.35) \\
 &= \frac{30 \times 0,98 \times (2 \times 9,81 \times 45)^{1/2} \times \cos 16}{3,14 \times 0,3} \\
 &= 891,444 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

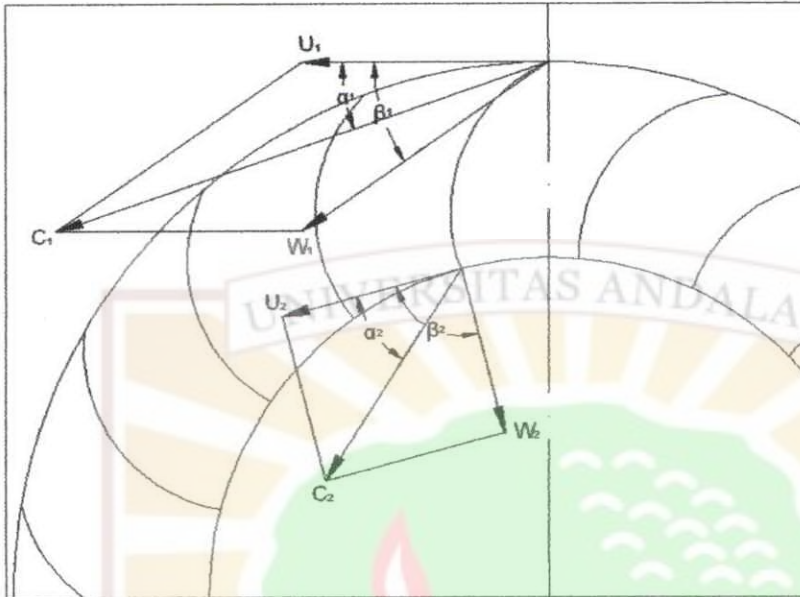
Dimana : $\phi = 0,98$, koefisien kecepatan yang harganya tergantung pada nosel (berdasarkan Sub-Bab 2.6.1 hal.13).

$\alpha_1 = 16$, sudut masuk (berdasarkan Sub-Bab 2.6.1 hal.13).

$$\begin{aligned}
 (n_s)_{\text{CrossFlow}} &= 1,166 \cdot N \cdot H^{-5/4} \cdot P_{\text{kW}}^{1/2} & (2.57) \\
 &= 1,166 \times 891,444 \times 45^{-5/4} \times 117,426^{0,5} \\
 &= 96,64 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

3.2. 2 Segitiga Kecepatan

3.2. 2.1 Komponen Segi Tiga Kecepatan Pada Tingkat 1



Gambar 3.4 Komponen segi tiga kecepatan pada Tingkat 1^{1/1}

- Kecepatan absolut air masuk turbin

$$C_1 = \phi \sqrt{2.g.H} \text{ dimana } k = \text{koefisien kecepatan} \quad (2.1)$$

Dimana : ϕ = koefisien pada nosel = 0,98

Maka:

$$\begin{aligned} C_1 &= 0,98 \sqrt{2 \times 9,81 \times 45} \\ &= 29,119 \end{aligned}$$

- Kecepatan tangensial ujung sudu

Dari segitiga kecepatan pada Gambar 3.4

$$\begin{aligned} U_1 &= 0,5 . C_1 . \cos \alpha_1 \\ &= 0,5 . 29,119 . \cos 16 \\ &= 13,99 \text{ m/s} \end{aligned}$$

- Kecepatan relatif air terhadap sudu

$$W_1^2 = U_1^2 + C_1^2 - 2 . U_1 . C_1 . \cos \alpha_1$$

$$\begin{aligned} W_1 &= \sqrt{U_1^2 + C_1^2 - 2 . U_1 . C_1 . \cos \alpha_1} \\ &= \sqrt{13,99^2 + 29,119^2 - (13,99 \times 29,119 \times \cos 16)} \\ &= 16,1815 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_2 &= 0,656 \cdot R_1 \\
 &= 0,656 \times 0,15 \\
 &= 0,099 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jadi diameter dalam dari turbin :

$$\begin{aligned}
 D_2 &= 2 R_2 \\
 &= 2 \times 0,099 \\
 &= 0,1984 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

3.2.2.3 Komponen Kecepatan Aliran Keluar Pada Tingkat 1

- Kecepatan arah radial

$$\begin{aligned}
 W_2 &= W_1 \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} \right) \sin \beta_1 & (2.26) \\
 &= 16,192 \cdot \left\{ \frac{0,15}{0,099} \right\} \sin 30 \\
 &= 12,32 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

- Kecepatan arah tangensial

$$\begin{aligned}
 U_2 &= \left(\frac{R_2}{R_1} \right) U_1 \\
 &= \left\{ \frac{0,099}{0,15} \right\} \cdot 13,99 \\
 &= 9,24 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

- Sudut antara kecepatan arah absolut dengan kecepatan arah tangensial

$$\begin{aligned}
 \tan \alpha_2 &= \frac{W_2}{U_2} & (2.28) \\
 &= \left\{ \frac{12,32}{9,24} \right\} \\
 \alpha_2 &= \text{Arc Tan } 1,335 \\
 &= 53,12^\circ
 \end{aligned}$$

- Kecepatan absolut

$$\begin{aligned}
 C_2 &= \frac{U_2}{\cos \alpha_2} \\
 &= \left\{ \frac{9,24}{\text{Cos } 53,12} \right\} \\
 &= 15,4 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

3.2.2.4 Komponen Kecepatan Pada Tingkat II

Perhitungan ini menggunakan asumsi kondisi ideal, dimana efisiensi teoritis maksimum.

- Komponen segi tiga kecepatan aliran masuk pada tingkat II

$$C_3 = C_2 = 15,42 \quad \text{m/s}$$

$$U_3 = U_2 = 9,24 \quad \text{m/s}$$

$$W_3 = W_2 = 12,32 \quad \text{m/s}$$

- Komponen segi tiga kecepatan aliran keluar pada tingkat II

$$U_4 = U_1 = 13,97 \quad \text{m/s}$$

$$W_4 = W_1 = 16,18 \quad \text{m/s}$$

$$\begin{aligned} C_4 &= C_1 \sin \alpha_1 \\ &= 29,11 \sin 16 \\ &= 8,023 \quad \text{m/s} \end{aligned}$$

2.2.3 Perencanaan Dinding Runner

- Tebal pancaran air, (pada Gambar 2.13).

$$\begin{aligned} s_0 &= k \cdot D_1 \\ &= 0,087 \times 0,3 \\ &= 0,0261 \quad \text{m} \end{aligned} \tag{2.13}$$

- Tebal pancaran di dalam runner (y), (pada Gambar 2.13).

$$\begin{aligned} y &= \frac{s_0 \cos \alpha_2}{(R_2 / R_1) \cos \alpha_1} \\ &= \left\{ \frac{0,0261 \times \cos 53,12}{\frac{0,099}{0,15} \cos 16} \right\} \\ &= 0,024 \quad \text{m} \end{aligned} \tag{2.30}$$

- Jarak antara sisi dalam pancaran sewaktu melintas di dalam runner ke poros turbin (y_1), (pada Gambar 2.13).

$$\begin{aligned} y_1 &= r_2 (\sin 90 - \alpha_2) - 1,89 S_0 / 2 - d_1 / 2 \\ &= 0,0713 \quad \text{m} \end{aligned} \tag{2.32}$$

- Jarak antara sisi luar pancaran dengan lingkaran dalam *runner* (y_2), (pada Gambar 2.13).

$$\begin{aligned} y_2 &= (0,1314 - 0,945 k) D_1 & (2.33) \\ &= (0,04918) \cdot (0,3) \\ &= 0,0147 \text{ m} \end{aligned}$$

- Panjang *runner* (b_0), (pada Gambar 2.21)

$$\begin{aligned} b_0 &= \frac{Q}{k D_1 \phi (2 g H)^{1/2}} & (2.36) \\ &= \left\{ \frac{0,035}{0,087 \cdot 0,035 \cdot 29,11} \right\} \\ &= 0,4605 \text{ m} \end{aligned}$$

2.2.4 Perencanaan Sudu

3.2.4. 1 Perhitungan Geometri Sudu

Berbeda dengan sudu turbin lainnya, sudu turbin *Cross Flow* ini merupakan bagian dari lingkaran. Lengkungan sudu dapat ditentukan dari suatu lingkaran yang pusatnya terletak di perpotongan dua garis, yaitu garis tegak lurus terhadap kecepatan relatif W_1 di titik A dan garis singgung terhadap lingkaran dalam roda jalan dititik B, pada Gambar 2.14 dan 2.16.

$$\begin{aligned} \bullet \quad c &= \sqrt{R_1^2 + R_2^2 - (2 R_1 R_2 \cos(\beta_1 + \beta_2))}, \text{ (lihat Gambar 2.16)} & (2.39) \\ &= \sqrt{0,15^2 + 0,099^2 - (2 \times (0,15 \times 0,099 \cos(30 + 90)))} \\ &= 0,217 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad \varepsilon &= \arcsin \left(\frac{R_2 \sin(\beta_1 + \beta_2)}{c} \right), \text{ (lihat Gambar 2.16)} & (2.40) \\ &= \text{Arc sin} \left\{ \frac{0,099 \times \sin(30 + 90)}{0,217} \right\} \end{aligned}$$

$$= 23,256^\circ$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad \xi &= 180^\circ - (\beta_1 + \beta_2 + \varepsilon), \text{ (lihat Gambar 2.16)} & (2.41) \\ &= 180^\circ - (30 + 90 + 23,256) \\ &= 36,744^\circ \end{aligned}$$

- $\varphi = (\beta_1 + \beta_2) - (180^\circ - 2\xi)$, (lihat Gambar 2.16) (2.42)

$$= (30 + 90) - (180^\circ - 2 \times 36,744)$$

$$= 13,488^\circ$$

- Jarak antara titik masuk dengan titik keluar (d), (lihat Gambar 2.16)

$$d = \frac{R_1 \sin \varphi}{2 \sin(180^\circ - \xi)} \quad (2.43)$$

$$= \frac{\{0,15 \times \sin(13,48)\}}{\{2 \cdot \sin(180 - 36,48)\}}$$

$$= 0,029 \quad \text{m}$$

- Sudut kelengkungan sudu, (lihat Gambar 2.16)

$$\delta = 180^\circ - 2(\beta_1 + \varepsilon) \quad (2.44)$$

$$= 180^\circ - 2(30 + 23,256)$$

$$= 73,488^\circ$$

- Jari-jari kelengkungan sudu (r_b), (lihat Gambar 2.16)

$$r_b = \frac{d}{\cos(\beta_1 + \varepsilon)} \quad (2.45)$$

$$= \frac{\{0,029\}}{\{0,595\}}$$

$$= 0,0487 \quad \text{m}$$

- Jari-jari lingkaran pitch (r_p), (lihat Gambar 2.16)

$$r_p = \sqrt{(r_b^2 + R_1^2) - (2 r_b R_1 \cos \beta_1)} \quad (2.46)$$

$$= \sqrt{0,15^2 + 0,0487^2 - (2 \times 0,15 \times 0,0487 \cos(30))}$$

$$= 0,110 \quad \text{m}$$

3.2.4.2 Spasi Atau Jarak Sudu Dan Lebar Sudu

Ketebalan jet pada arah radial adalah : $S_1 = t \cdot \sin \beta_1$ dan $S_2 = t \cdot (R_2/R_1)$.

Lihat Δ AOB pada Gambar 2.10, asumsi tebal sudu diabaikan. S_1 adalah ketebalan jet pada saat masuk sudu turbin dan S_2 adalah ketebalan jet pada saat keluar sudu tingkat I. Dengan menggunakan hukum kontinuitas maka didapat :

$$S_2 \cdot W_2 = S_1 \cdot W_1$$

- Jarak antar sudu (t)

$$\begin{aligned} t &= s_0 / \sin \beta_1 \\ &= 0,0261 / \sin 30 \\ &= 0,0517 \quad \text{m} \end{aligned} \quad (2.14)$$

- Jumlah sudu (z)

$$\begin{aligned} z &= \frac{\pi D_1}{t} \\ &= (3,14 \cdot 0,15) / 0,017 \\ &= 18,19 \quad \Rightarrow \text{dibulatkan menjadi 18 buah sudu} \\ \zeta &= 360/18 \\ &= 20 \end{aligned} \quad (2.15)$$

- Lebar lingkaran sudu (a)

$$\begin{aligned} a &= 0,17 D_1 \\ &= 0,17 \times 0,3 \\ &= 0,0337 \quad \text{m} \end{aligned} \quad (2.25)$$

- Besarnya S_2 (pada Gambar 2.10) adalah :

$$\begin{aligned} \frac{R_1}{R_2} &= \frac{0,075}{0,0495} \\ &= 1,515 \end{aligned}$$

Tebal air keluar dari sudu tingkat 1

$$\begin{aligned} S_2 &= 2 \cdot R_2 \cdot \tan (\zeta/2) \\ &= 2 \times 0,0998 \times \tan (20/2) \\ &= 0,035 \quad \text{m} \end{aligned}$$

- Perbandingan ketebalan jet

$$\begin{aligned} \frac{S_1}{S_2} &= \frac{R_1}{R_2} \sin \beta_1 \\ &= 1,503 \sin 30 \\ &= 0,751 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan kontinuitas diatas diperoleh ketebalan jet pada saat masuk sudu tingkat I adalah :

$$S_1 = \frac{R_1}{R_2} \sin \beta_1 \cdot S_2$$

$$= 0,751 \times 0,035$$

$$= 0,00263 \text{ m}$$

4.2.4.3 Panjang Busur dan Luas Pemasukan

- Panjang busur pemasukan (L), pada Gambar 2.21

$$L = \frac{2 R_1 \pi \varphi}{360^\circ} \quad (2.50)$$

$$= (2 \cdot 0,15 \cdot 3,14 \cdot 13,48) / 360$$

$$= 0,0356 \text{ m}$$

- Luas pemasukan aliran (A)

$$A = b_0 \cdot L \quad (2.49)$$

$$= 0,4605 \times 0,0356$$

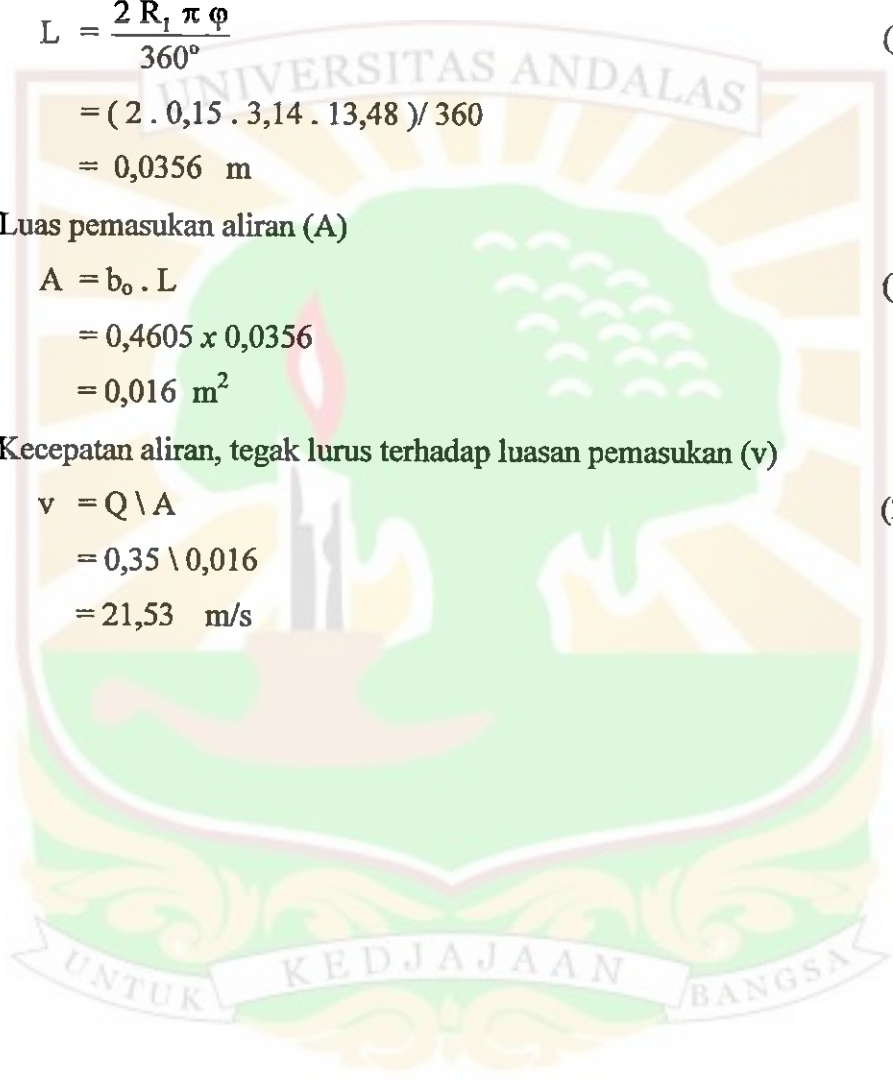
$$= 0,016 \text{ m}^2$$

- Kecepatan aliran, tegak lurus terhadap luasan pemasukan (v)

$$v = Q \setminus A \quad (2.51)$$

$$= 0,35 \setminus 0,016$$

$$= 21,53 \text{ m/s}$$



3.3 Pembuatan Animasi

Animasi turbin air dibuat dalam bentuk animasi 2D dengan menggunakan program *Adobe Flash CS3 Professional*. Animasi turbin air yang di buat hanya untuk jenis turbin *Crossflow*.

Animasi turbin air dibuat dalam bentuk gerakan sudu turbin yang berputar dan aliran fluida yang digambarkan berupa tanda panah yang bergerak menuju *runner* sehingga menyebabkan *runner* berputar.

3.4 Pembuatan Program

Program perancangan Turbin Air Aliran Silang (Turbin *Crossflow*) dibuat menggunakan bahasa pemrograman *Action Script 2.0* yang telah terintegrasi pada program *Adobe Flash CS3 Professional*. Dalam pembuatan program perancangan Turbin Air Aliran Silang ini, dilakukan beberapa tahapan proses perancangan dan pembuatan yaitu, penentuan rumus dasar perancangan Turbin Air Aliran Silang (Bab 3.2.1), algoritma program (Bab 3.4.1) dan pembuatan program (Bab 3.4.2).

3.4.1 Alogaritma Program

Untuk mempermudah dalam pembuatan program perancangan Turbin Air Aliran Silang ini, terlebih dahulu dilakukan pembuatan *flowchart* dan algoritma program. *Flowchart* program perancangan PLTM ini dilampirkan pada Lampiran B. Sedangkan algoritma program secara umum dijelaskan sebagai berikut:

- ❖ Proses input password, pada program ini programmer membuat password / kata kunci agar tingkat keamanan dari program tersebut lebih akurat.
- ❖ Proses input tinggi jatuh air (H), debit (Q), Diameter runner (D_1), dan efisiensi turbin (η) sebagai data awal yang sangat penting untuk diinputkan untuk melakukan proses perhitungan selanjutnya. Debit dibatasi antara 0,2 – 10 m^3/s , *head* dibatasi dari 1 – 200 m, sedangkan Diameter *runner* dibatasi antara 0-10000 m. Jika pengguna tidak menginputkan debit maka program secara *default* akan menetapkan debit adalah bernilai 0,2 m^3/s , jika *head* tidak diinputkan maka *head* akan bernilai 1 m, jika diameter *runner* tidak

diinputkan maka diameter *runner* akan bernilai 0 m. Sedangkan efisiensi tidak diinputkan maka daya turbin akan bernilai 0 m.

- ❖ Proses perhitungan *daya turbin* (P_t), dengan menggunakan persamaan 2.7. Dimana massa jenis air bernilai 1000 kg/m^3 , dan daya gravitasi adalah $9,81 \text{ m/s}^2$, dan efisiensi turbin diasumsikan 0,76. Jika tinggi jatuh air tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.
- ❖ Proses perhitungan putaran poros (N), dengan menggunakan persamaan 2.35. Dimana koefisien kecepatan bernilai 0,98, dan sudut masuk diasumsikan 0,16. Jika tinggi jatuh air tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.
- ❖ Proses perhitungan *kecepatan Spesifik* (N_s), dengan menggunakan persamaan 2.57. Dimana jika tinggi jatuh air tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.
- ❖ Proses perhitungan *kecepatan absolut* (C_1), dengan menggunakan persamaan 2.1. Dimana jika tinggi jatuh air tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.
- ❖ Proses perhitungan *kecepatan tangensial ujung sudu* (U_1), dengan menggunakan persamaan segitiga kecepatan pada gambar 3.4. Dimana jika tinggi jatuh air tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.
- ❖ Proses perhitungan kecepatan air terhadap sudu (W_1), dengan menggunakan persamaan segitiga kecepatan pada gambar 3.4. Dimana jika tinggi jatuh air tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.
- ❖ Proses perhitungan *sudut masuk* (β_1), dengan menggunakan persamaan segitiga kecepatan pada gambar 3.4. Dimana jika tinggi jatuh air tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.
- ❖ Proses perhitungan *diameter dalam turbin* (D_2), dengan menggunakan persamaan 2.23. Dimana jika diameter runner tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.

tidak diperlukan maka diameter runner akan bernilai 0 m. Sedangkan efisiensi tidak diperlukan maka daya tardin akan bernilai 0 m.

❖ Proses perhitungan daya tardin (T_d) dengan menggunakan persamaan 2.7. Dimana massa jenis air bernilai 1000 kg/m³ dan daya gravitasi adalah 9.81 m/s². dan efisiensi tardin diasumsikan 0.70. Jika tinggi jatuh air tidak diperlukan maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.

❖ Proses perhitungan putaran poros (N) dengan menggunakan persamaan 2.22. Dimana koefisien kecepatan bernilai 0.98 dan sudut masuk diasumsikan 0.10. Jika tinggi jatuh air tidak diperlukan maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.

❖ Proses perhitungan koefisien efisiensi (K_e) dengan menggunakan persamaan 2.27. Dimana jika tinggi jatuh air tidak diperlukan maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.

❖ Proses perhitungan koefisien absorpsi (C_a) dengan menggunakan persamaan 2.1. Dimana jika tinggi jatuh air tidak diperlukan maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.

❖ Proses perhitungan koefisien konduktivitas (K_c) dengan menggunakan persamaan 2.4. Dimana jika tinggi jatuh air tidak diperlukan maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.

❖ Proses perhitungan koefisien air terhadap angin (W_a) dengan menggunakan persamaan 2.4. Dimana jika tinggi jatuh air tidak diperlukan maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.

❖ Proses perhitungan zwaib mewis (W_m) dengan menggunakan persamaan 2.4. Dimana jika tinggi jatuh air tidak diperlukan maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.

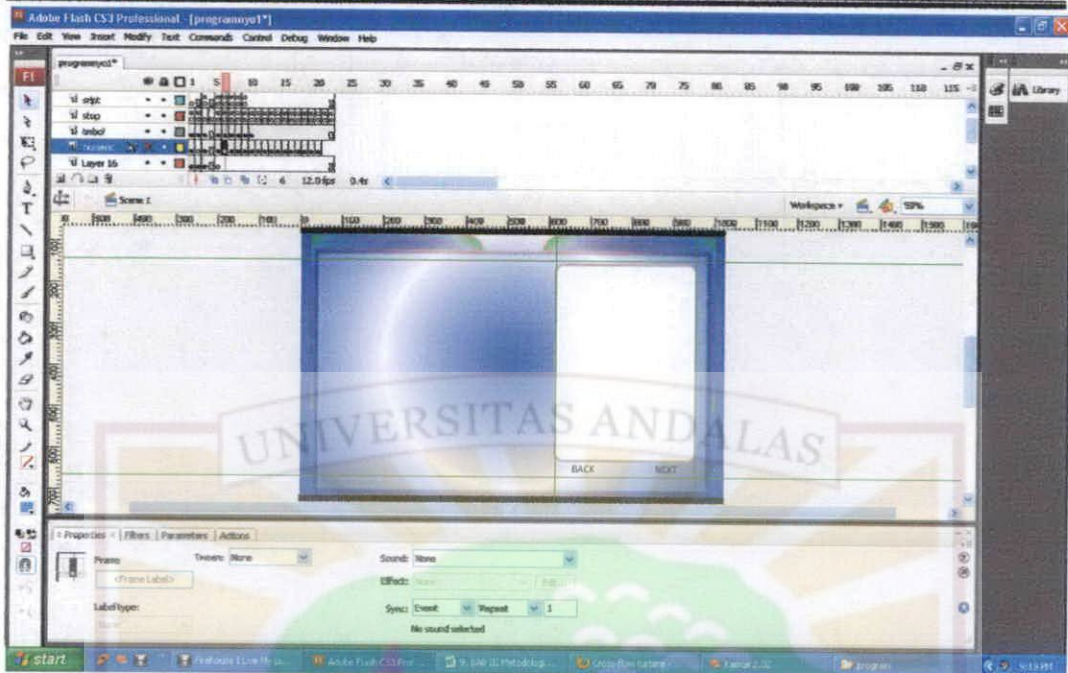
❖ Proses perhitungan diameter dalam tardin (D_d) dengan menggunakan persamaan 2.23. Dimana jika diameter runner tidak diperlukan maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.

- ❖ Proses perhitungan *kecepatan arah radial* (W_2), dengan menggunakan persamaan 2.26. Dimana jika diameter runner tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.
- ❖ Proses perhitungan *kecepatan arah absolut* (α_2), dengan menggunakan persamaan 2.28. Dimana jika diameter runner tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.
- ❖ Proses perhitungan *kecepatan absolut* (C_2), dengan menggunakan persamaan 2.28. Dimana jika diameter runner tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.
- ❖ Proses perhitungan *tebal pancaran air* (S_0), dengan menggunakan persamaan 2.13. Dimana jika diameter runner tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.
- ❖ Proses perhitungan *tebal pancaran air di dalam runner* (y), dengan menggunakan persamaan 2.30. Dimana jika diameter runner tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.
- ❖ Proses perhitungan *panjang runner* (b_0), dengan menggunakan persamaan 2.36. Dimana jika diameter runner tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.
- ❖ Proses perhitungan *geometri sudu*, dengan menggunakan persamaan 2.39. Dimana jika diameter runner tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.
- ❖ Proses perhitungan *jarak antara titik masuk dengan titik keluar* (d), dengan menggunakan persamaan 2.43. Dimana jika diameter runner tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.
- ❖ Proses perhitungan *sudut kelengkungan sudu* (δ), dengan menggunakan persamaan 2.44. Dimana jika diameter runner tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.
- ❖ Proses perhitungan *jari jari kelengkungan sudu* (r_b), dengan menggunakan persamaan 2.45. Dimana jika diameter runner tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.

- ❖ Proses perhitungan *jari-jari lingkaran pitch* (r_p), dengan menggunakan persamaan 2.46. Dimana jika diameter runner tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.
- ❖ Proses perhitungan *jarak antar sudu* (t), dengan menggunakan persamaan 2.14. Dimana jika diameter runner tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.
- ❖ Proses perhitungan *jumlah sudu* (z), dengan menggunakan persamaan 2.15. Dimana jika diameter runner tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.
- ❖ Proses perhitungan *lebar lingkaran sudu* (a), dengan menggunakan persamaan 2.25. Dimana jika diameter runner tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.
- ❖ Proses perhitungan *panjang busur pemasukan* (L), dengan menggunakan persamaan 2.50. Dimana jika diameter runner tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.
- ❖ Proses perhitungan *luas pemasukan aliran* (A), dengan menggunakan persamaan 2.49. Dimana jika diameter runner tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.
- ❖ Proses perhitungan *kecepatan aliran* (v), dimana tegak lurus terhadap luasan pemasukan dengan menggunakan persamaan 2.51. Dimana jika diameter runner tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.

3.4.2 Tahapan Pembuatan Program

Dalam pembuatan program ini, secara umum dibagi dalam beberapa tahapan proses pembuatan, yaitu pembuatan desain *layout* program, dan proses *coding*. Pada Gambar 3.4 dibawah ini memperlihatkan proses pembuatan *layout* program.



Gambar 3.4 Proses pembuatan *layout* program.

Setelah proses pembuatan *layout* program, dilakukan proses *coding*. Dibawah ini diperlihatkan contoh *script* program untuk menghitung variabel mekanik *penstock*.

Contoh *script* :

```

/*----- perhtngn daya turbin ----- */
h1a = hasil1 ;
h2a = hasil2 ;
hasil4 = 9.81*1000*h1a*h2a
hasil5 = hasil4/1000
hasil6 = hasil5*0.76
/*----- */

p = new Object();
var aa6 = hasil6;
p.change = function(ubah6){
    aa6 = ubah6.target.value;
}
hasil6.addEventListener("change",p);

```

```
perhitungan6 = function (jawab6){  
    ccc6 = aa6;  
    return ccc6;  
}  
/*-----*/  
step2.onRelease = function(){  
    hasil6 = perhitungan6(jawab6);  
    gotoAndStop(6);  
};
```



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian hasil dan pembahasan ini akan dibahas mengenai hasil perhitungan perancangan turbin *crossflow* secara manual, hasil dari pembuatan animasi turbin *crossflow*, dan hasil perhitungan perancangan turbin *crossflow* dengan menggunakan program perancangan yang telah dibuat.

4.1 Hasil Perhitungan dan Pembahasan Perancangan Turbin *Crossflow* Secara Manual

Pada perancangan turbin *crossflow* secara manual dengan perhitungan secara manual diperoleh hasil perhitungan perancangan sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data Perancangan

Spesifikasi Turbin	Simbol	Satuan	Nilai
Debit	Q	m ³ /s	0,35
Head	H	m	45
Konstanta kecepatan	K		0,087
Sudut masuk	α_1	(^o)	16
Koefisien empiris	ϕ		0,98
Efisiensi turbin	η		0,76
Massa jenis air	ρ_a	Kg/m ³	1000
Gravitasi bumi	G	m/s ²	9,81

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Diameter Runner

Spesifikasi Turbin	Simbol	Satuan	Nilai
Daya turbin	P _t	kW	117,426
Putaran turbin	N	Rpm	891,444
Kecepatan spesifik	n _s	Rpm	96,64
Diameter runner	D ₁	m	0,3
Jari-jari runner	R ₁	m	0,15

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Segitiga Kecepatan

Spesifikasi Turbin	Simbol	Satuan	Nilai
Kecepatan absolut air masuk turbin	C ₁	m/s	29,119
Kecepatan tangensial ujung sudu	U ₁	m/s	13,99
Kecepatan relatif air terhadap sudu	W ₁	m/s	16,181
Sudut kecepatan nisbi	β_1	(^o)	30
Jari-jari dalam turbin	R ₂	m	0,099
Kecepatan arah radial	W ₂	m/s	12,32
Kecepatan arah tangensial	U ₂	m/s	9,24

Sudut antara kecepatan arah absolut dengan kecepatan arah tangensial	α_2	($^\circ$)	53,12
Kecepatan absolute	C_2	m/s	15,4
Kecepatan absolut aliran masuk tingkat II	C_3	m/s	15,4
Kecepatan arah radial aliran masuk tingkat II	W_3	m/s	12,32
Kecepatan arah tangensial aliran masuk tingkat II	U_3	m/s	9,24
Kecepatan arah tangensial aliran keluar tingkat II	U_4	m/s	13,97
Kecepatan arah radial aliran keluar tingkat II	W_4	m/s	16,18
Kecepatan absolut aliran keluar tingkat II	C_4	m/s	8,023

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Perencanaan Dinding Runner

Spesifikasi Turbin	Simbol	Satuan	Nilai
Tebal pancaran air	s_0	m	0,0261
Jarak pancaran	y	m	0,024
Jarak antara sisi dalam pancaran	y_1	m	0,0713
Jarak antara sisi luar pancaran	y_2	m	0,0147
Panjang runner	b_0	m	0,4605

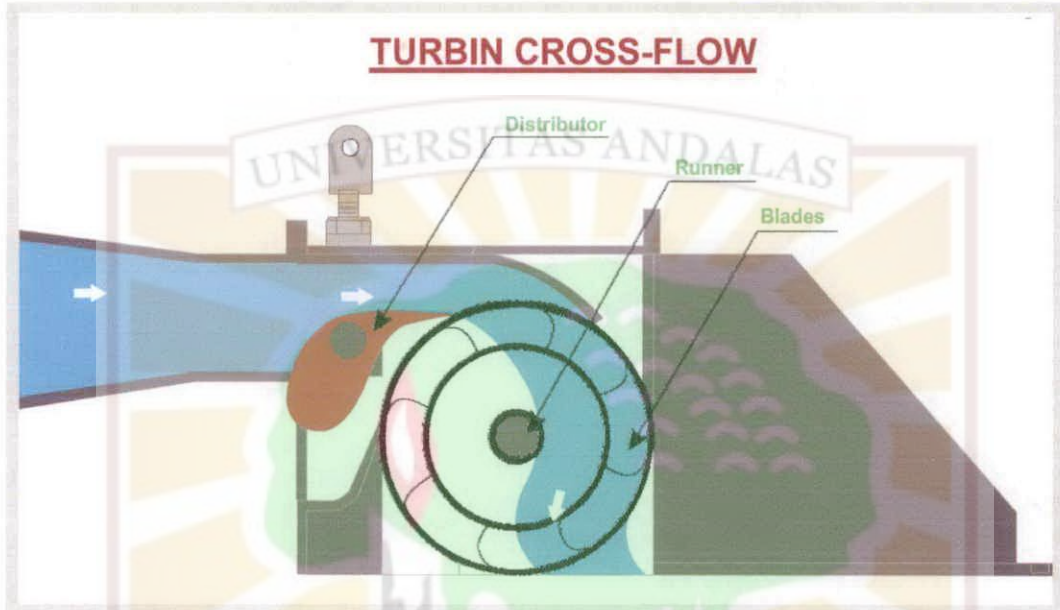
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Perencanaan Sudu

Spesifikasi Turbin	Simbol	Satuan	Nilai
Jarak penghubung aliran masuk dengan keluar pada tingkat II	C	m	0,217
Sudut (lihat gambar 2.16)	ϵ	($^\circ$)	23,256
Sudut (lihat gambar 2.16)	ξ	($^\circ$)	36,744
Sudut (lihat gambar 2.16)	φ	($^\circ$)	13,488
Jarak antara titik masuk dengan titik keluar	D	m	0,029
Sudut kelengkungan sudu	δ	($^\circ$)	73,488
Jari-jari kelengkungan sudu	r_b	m	0,0487
Jari-jari lingkaran pitch	r_p	m	0,0110
Jarak antar sudu	T	m	0,0517
Jumlah sudu	Z		18,19
Kecepatan aliran	V	m/s	21,53
Lebar lingkaran sudu	A	m	0,0337
Tebal air keluar dari sudu tingkat I	S_2	m	0,751
Tebal air masuk pada sudu tingkat I	S_1	m	0,00263
Panjang busur pemasukan	L	m	0,0356
Luas pemasukan aliran	A	m^2	0,016

Dari hasil perhitungan perancangan turbin *crossflow* secara manual dengan debit (Q) = 0,35 m^3/s , head (H) = 45 m, dan diameter *runner* sebesar 0,3 m maka didapatkan kecepatan spesifik sebesar 96,64, atas dasar kecepatan spesifik ini

maka hal ini sesuai dengan nilai kecepatan spesifik untuk turbin *CrossFlow* (dengan $N_s = 40 - 180$).

4.2 Hasil dan Pembahasan Perancangan Animasi Turbin *CrossFlow*



Gambar 4.1 Animasi Turbin *CrossFlow*

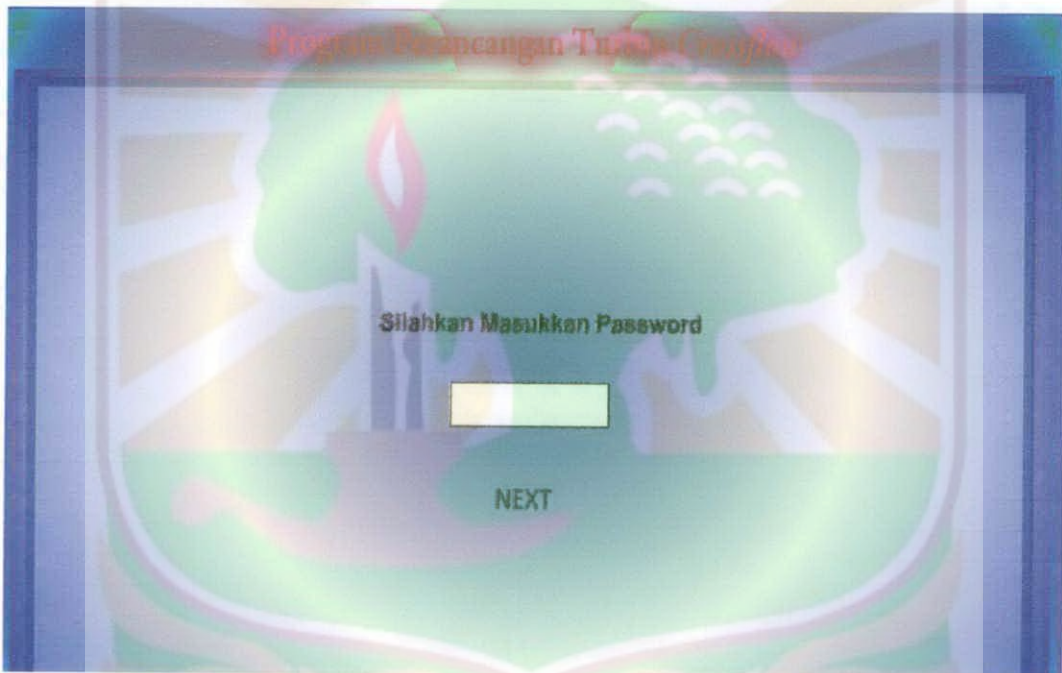
Pada animasi turbin *CrossFlow* ini (Gambar 4.1), menjelaskan bagaimana prinsip kerja dari sebuah turbin *CrossFlow* yang dimanfaatkan untuk *head* rendah, *head* sedang, debit rendah dan debit yang sedang juga. Air mengalir pada kanal yang ditunjukkan oleh pergerakan tanda panah menuju sudu turbin sehingga menyebabkan *runner* berputar dan secara otomatis poros turbin berputar. Akibat perputaran poros turbin, generator akan ikut berputar untuk menghasilkan daya listrik.

Pada animasi diatas juga menjelaskan bahwa turbin *CrossFlow* merupakan jenis turbin aksi, hal ini terlihat dengan animasi berupa percikan air akibat momentum atau impuls yang menyebabkan *runner* berputar. Tekanan air diubah sebelum masuk ke sudu penggerak menjadi energi energi kinetik kecepatan tinggi menggunakan *nozzel*.

4.3 Hasil dan Pembahasan Perancangan Turbin *CrossFlow* dengan Menggunakan Program

Perancangan Turbin *CrossFlow* dengan menggunakan program yang telah dibuat, dilakukan proses perancangan secara bertahap. Tahapan perhitungan perancangan pada program ini adalah sebagai berikut:

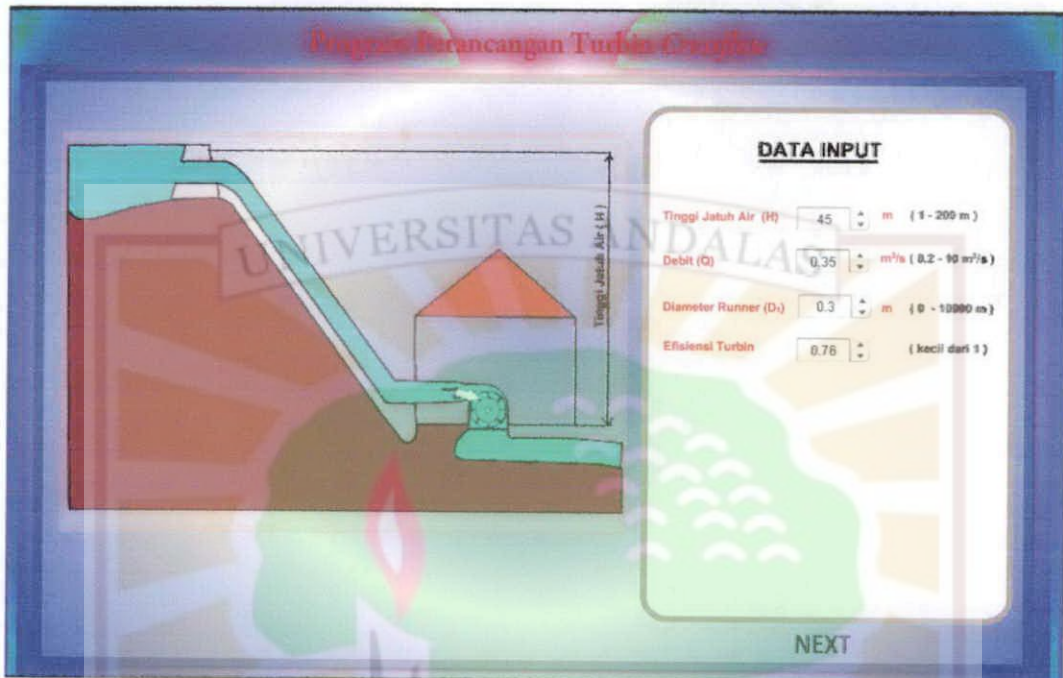
- ❖ Tahapan input password, pada program ini programmer membuat password / kata kunci agar tingkat keamanan dari program tersebut lebih akurat.



Gambar 4.2 Tampilan Input Password

Pada tahapan ini (Gambar 4.2), merupakan halaman awal saat program mulai dijalankan. Pada bagian ini berfungsi untuk menginputkan password dari program yang di rancang programmer. Untuk melanjutkan ke tahapan berikutnya dapat dilakukan dengan meng-klik tombol *next*. Apabila pengguna program memasukkan password yang salah maka akan ada peringatan untuk pengguna tersebut mengulangi proses memasukkan password.

- ❖ Tahapan input tinggi jatuh air (H), debit (Q), Diameter runner (D_r), dan efisiensi turbin (η) sebagai data awal yang sangat penting untuk diinputkan untuk melakukan Tahapan perhitungan selanjutnya.



Gambar 4.3. Tampilan Input Data

Pada tahapan ini (Gambar 4.3), merupakan halaman awal untuk memasukkan data yang akan dirancang. Debit dibatasi antara $0,2 - 10 \text{ m}^3/\text{s}$, head dibatasi dari $1 - 200 \text{ m}$, sedangkan Diameter *runner* dibatasi antara $0-10000 \text{ m}$. Jika pengguna tidak menginputkan debit maka program secara *default* akan menetapkan debit adalah bernilai $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$, jika *head* tidak diinputkan maka *head* akan bernilai 1 m , jika diameter *runner* tidak diinputkan maka diameter *runner* akan bernilai 0 m . Sedangkan efisiensi tidak diinputkan maka daya turbin akan bernilai 0 m . rentang nilai efisiensi yang di inputkan adalah dari $0-1$.

- ❖ Tahapan perhitungan *daya turbin* (P_t), dengan menggunakan persamaan 2.7. Dimana massa jenis air bernilai $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$, dan daya gravitasi adalah $9,81 \text{ m}/\text{s}^2$, dan efisiensi turbin diasumsikan $0,76$. Jika tinggi jatuh air tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0 .

Program Perancangan Turbin Crossflow

1. Perencanaan Spesifikasi Rancangan

a. perhitungan daya turbin (P_t)

Setelah data input dimasukkan maka dari data tersebut bisa kita selesaikan persamaan berikut :

$$P_w = \rho_w \cdot g \cdot H \cdot Q$$

$$P_t = P_w \cdot \eta$$

Dimana

- ρ_w = massa jenis air = 1000 kg/m³
- g = gaya gravitasi bumi = 9,81m/s²
- η = efisiensi turbin

Perhitungan Daya Turbin

$$P_w = \rho_w \cdot g \cdot H \cdot Q$$

$$P_w = (1000) \cdot (9,81) \cdot (45) \cdot (0,35)$$

$$P_w = 154507,5 \text{ Watt}$$

$$P_t = P_w \cdot \eta$$

$$P_t = (154.5075) \cdot (0,76)$$

$$P_t = 117,4257 \text{ kWatt}$$

BACK
NEXT

Gambar 4.4. Tampilan Perhitungan Daya Turbin

- ❖ Tahapan perhitungan putaran poros (N), dengan menggunakan persamaan 2.35. Dimana koefisien kecepatan bernilai 0,98, dan sudut masuk diasumsikan 0,16. Jika tinggi jatuh air tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.

Program Perancangan Turbin Crossflow

b. Perhitungan Putaran Poros

Setelah data input dimasukkan maka dari data tersebut bisa kita selesaikan persamaan berikut :

$$N = \frac{30 \cdot \varphi \cdot (2gH)^{0,5} \cos \alpha_r}{(\pi D_r)}$$

Dimana

- $\alpha_r = 16^\circ$, sudut masuk
- $\varphi = 0,98$ koefisien kecepatan, harganya tergantung nosel.

pada turbin ini nosel berpenampang persegi, yang me ngeluarkan pancaran air ke sebelah runner dan masuknya dengan sudut 16° terhadap garis singgung lingk ar runner.

Perhitungan Putaran Poros

$$N = \frac{30 \cdot \varphi \cdot (2gH)^{0,5} \cos \alpha_r}{(\pi D_r)}$$

$$N = \frac{30 \cdot 0,98 \cdot (2 \cdot 9,81 \cdot 45)^{0,5} \cdot (\cos 16)}{(3,14 \cdot 0,3)}$$

$$N = \frac{30 \cdot 0,98 \cdot (29,71363323)^{0,5} \cdot (0,967)}{(0,942)}$$

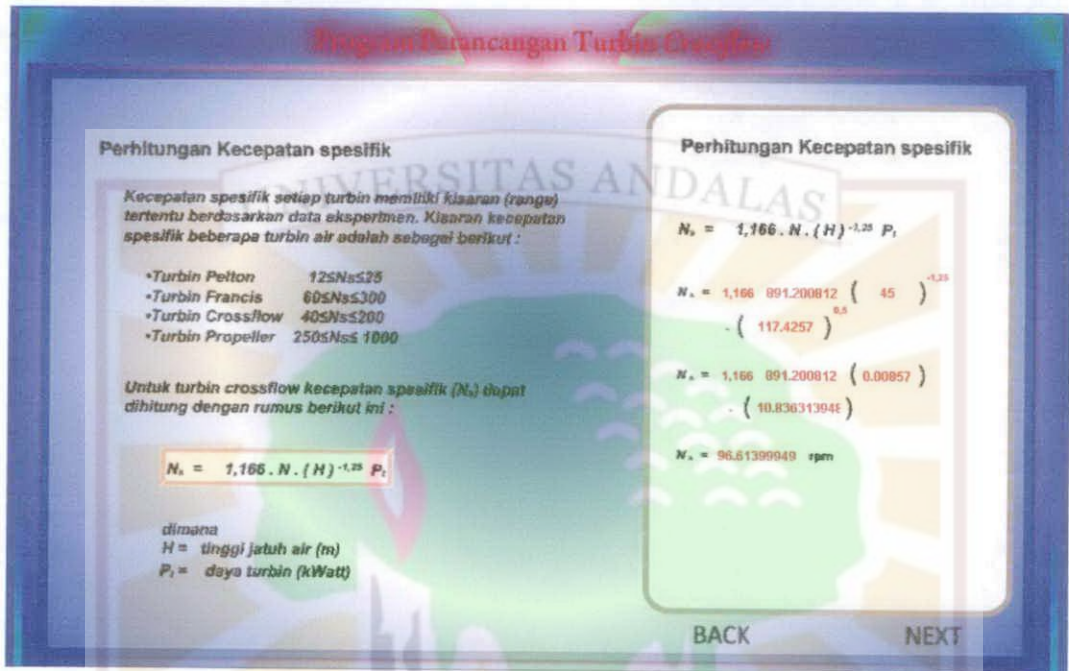
$$N = \frac{(839,5111652)}{(0,942)}$$

$$N = 891,200812 \text{ rpm}$$

BACK
NEXT

Gambar 4.5 Tampilan Perhitungan Putaran Poros

- ❖ Tahapan perhitungan *kecepatan Spesifik (N_s)*, dengan menggunakan persamaan 2.57. Dimana jika tinggi jatuh air tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.



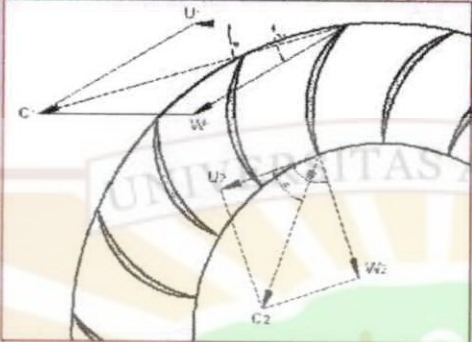
Gambar 4.6 Tampilan perhitungan Kecepatan Spesifik

- ❖ Tahapan perhitungan *kecepatan absolut (C_1)* dengan menggunakan persamaan 2.1, tahapan perhitungan *kecepatan tangensial ujung sudu (u_1)*, dan tahapan perhitungan *kecepatan air terhadap sudu (W_1)*, dengan menggunakan persamaan segitiga kecepatan pada gambar 3.4. Dimana jika tinggi jatuh air tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.

Program Perancangan Turbin Crossflow

Perhitungan Sudut

Pada perhitungan sudut ini digunakan segitiga kecepatan berikut ini :



Perhitungan Sudut

Kecepatan absolut air masuk turbin

$$C_1 = \sqrt{2gH}^{0.5}$$

$$C_1 = 0,98 \left(2 \cdot 9,81 \cdot 45 \right)^{0,5}$$

$$C_1 = 0,98 \left(29,713633 \right)^{0,5}$$

$$C_1 = 29,1193605 \text{ m/s}$$

Kecepatan tangensial ujung sudu

$$U_1 = 0,5 \cdot C_1 \cdot \cos \alpha$$

$$U_1 = 0,5 \cdot 29,1193605 \left(\cos 16 \right)$$

$$U_1 = 13,9772930$$

Kecepatan relatif air terhadap sudu

$$W_1^2 = U_1^2 + C_1^2 - 2 U_1 \cdot C_1 \cdot \cos \alpha$$

$$W_1^2 = 195,364721 + 847,93716 -$$

$$\left(2 \cdot 13,9772930 \cdot 29,1193605 \right) (\cos 16)$$

$$W_1^2 = 261,842995$$

$$W_1 = 16,1815634$$

BACK NEXT

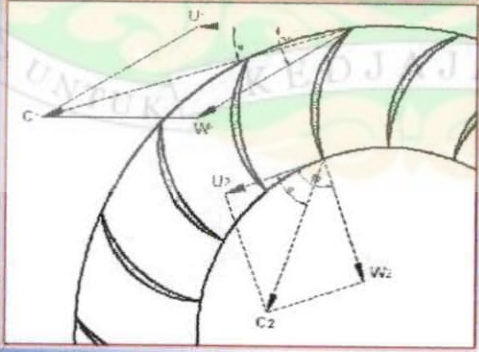
Gambar 4.7 Tampilan Perhitungan Kecepatan Absolut

- ❖ Tahapan perhitungan *sudut masuk* (β_1), dengan menggunakan persamaan segitiga kecepatan pada gambar 3.4. Dimana jika tinggi jatuh air tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.

Program Perancangan Turbin Crossflow

Perhitungan Sudut

Pada perhitungan sudut ini digunakan segitiga kecepatan berikut ini :



Perhitungan Sudut

Sudut antara kec. relatif dengan kec. tangensial

$$\cos \beta = \frac{C_1 \cdot \cos \alpha \cdot U_1}{W_1}$$

$$\cos \beta = \frac{29,1193605 \cos 16 \cdot 13,9772930}{16,1815634}$$

$$\cos \beta = \frac{27,9545884 \cdot 13,9772930}{16,1815634}$$

$$\cos \beta = \frac{13,9772930}{16,1815634}$$

$$\cos \beta = 0,863778900$$

$$\beta = \text{Arc Cos } 0,863778900$$

$$\beta = 30,27178366$$

BACK NEXT

Gambar 4.8 Tampilan Perhitungan Sudut Masuk

- ❖ Tahapan perhitungan *diameter dalam turbin (D₂)*, dengan menggunakan persamaan 2.23. Dimana jika diameter runner tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.

Perhitungan Diameter Dalam Turbin

$$\frac{U_1}{W_1} = \frac{1}{\cos \beta} = 1.1577036$$

$$\left(\frac{U_1}{W_1}\right)^2 = (1.1577036)^2 = 1.340277$$

$$1 - \left(\frac{U_1}{W_1}\right)^2 = 1 - 1.340277 = -0.340277$$

$$X^2 \cdot \left(1 - \left(\frac{U_1}{W_1}\right)^2\right) \cdot X \cdot \left(\frac{U_1}{W_1}\right)^2 \sin^2 \beta_1 = 0$$

$$X^2 \cdot (-0.340277) \cdot X \cdot 1.340277 \cdot 0.254119 = 0$$

$$X^2 \cdot (-0.340277) \cdot X \cdot 0.340590 = 0$$

Dimana : X perbandingan jari-jari lingkaran dalam dengan luar maka Dengan menggunakan rumus ABC :

$$X_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$X_{1,2} = \frac{-0.340277 \pm \sqrt{(-0.340277)^2 - 4 \cdot 1 \cdot 0.340590}}{2 \cdot 1}$$

$$X_{1,2} = \frac{-0.340277 \pm 1.215792}{2}$$

$X_1 = 0.437755$
 $X_2 = -0.778034$

Diambil $X_1 = 0.437755$ karena untuk nilai perbandingan R_2/R_1 harus bernilai positif

$$X^{0.2} = \sqrt{0.437755} = 0.661630$$

$$X = R_2/R_1 = 0.661630$$

$$R_2 = 0.661630 \cdot R_1$$

$$R_2 = 0.661630 \cdot 0.15 = 0.099244$$

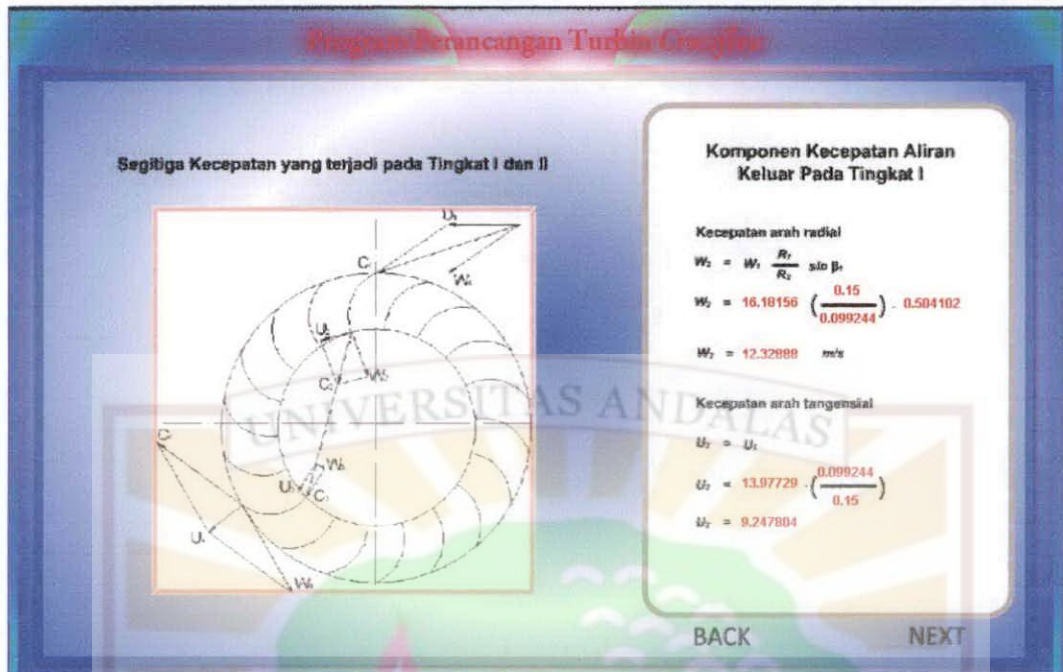
$$R_2 = 0.099244 \cdot 2$$

$$D_2 = 0.198489$$

BACK
NEXT

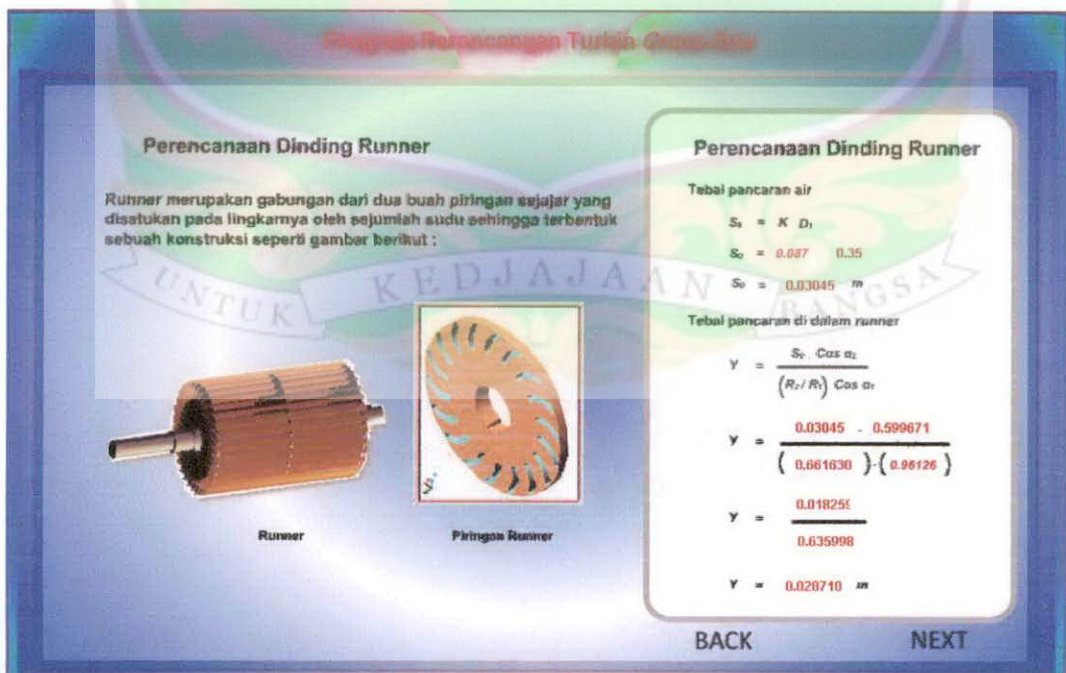
Gambar 4.9 Tampilan Perhitungan Diameter Dalam

- ❖ Tahapan perhitungan *kecepatan arah radial (W₂)* dan tahapan perhitungan *kecepatan arah tangensial (U₂)*, dengan menggunakan persamaan 2.26. perhitungan *kecepatan arah absolut (a₂)* dan perhitungan *kecepatan absolut (C₂)*, dengan menggunakan persamaan 2.28. Dimana jika diameter runner tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0. Perhitungan disini bertolak ukur dengan segitiga kecepatan pada tingkat 1 dan 2



Gambar 4.10 Tampilan Perhitungan Pada Segitiga Kecepatan

- ❖ Tahapan perhitungan *tebal pancaran air (S₀)*, dengan menggunakan persamaan 2.13. dan perhitungan *tebal pancaran air di dalam runner (y)*, dengan menggunakan persamaan 2.30. Dimana jika diameter runner tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.



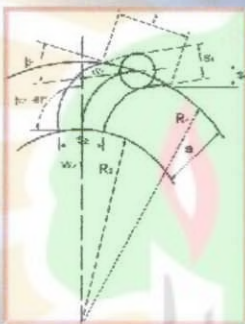
Gambar 4.11 Tampilan Perhitungan Pada Dinding Runner

- ❖ Tahapan perhitungan jarak antara titik masuk dengan titik keluar (d), dengan menggunakan persamaan 2.43. dan perhitungan sudut kelengkungan sudu (δ), dengan menggunakan persamaan 2.44. Dimana jika diameter runner tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.

Perencanaan Sudu

Perencanaan Sudu

Berbeda dengan sudu turbin lainnya, sudu turbin Cross Flow ini merupakan bagian dari lingkaran. Lengkungan sudu dapat ditentukan dari suatu lingkaran yang pusatnya terletak di perpotongan dua garis, yaitu garis tegak lurus terhadap kecepatan relatif W_1 di titik A dan garis singgung terhadap lingkaran dalam roda jalan di titik B, pada Gambar berikut :



Jarak antara titik masuk dengan titik keluar

$$d = \frac{R_r \cdot \sin \phi}{2 \sin (180 - \xi)}$$

$$d = \frac{0,175 \cdot \sin 13,31472}{2 \sin (180 - 36,52147)}$$

$$d = 0,033860$$

Sudut kelengkungan sudu

$$\delta = 180 - 2(\beta_r + \xi)$$

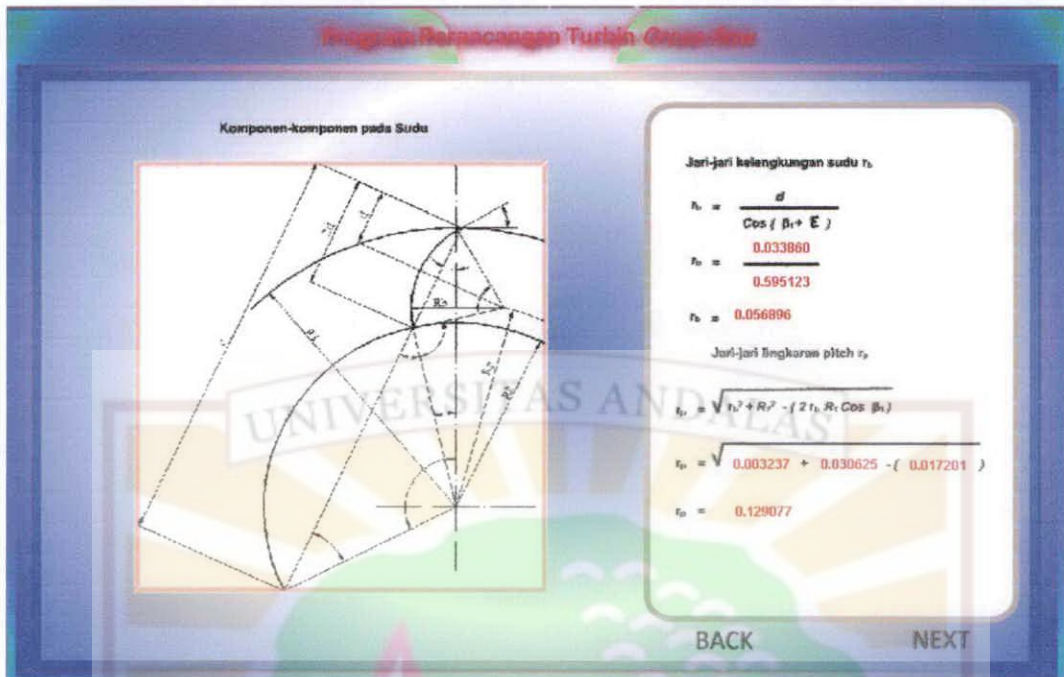
$$\delta = 180 - 2(30,27178 + 23,20674)$$

$$\delta = 73,04294$$

BACK NEXT

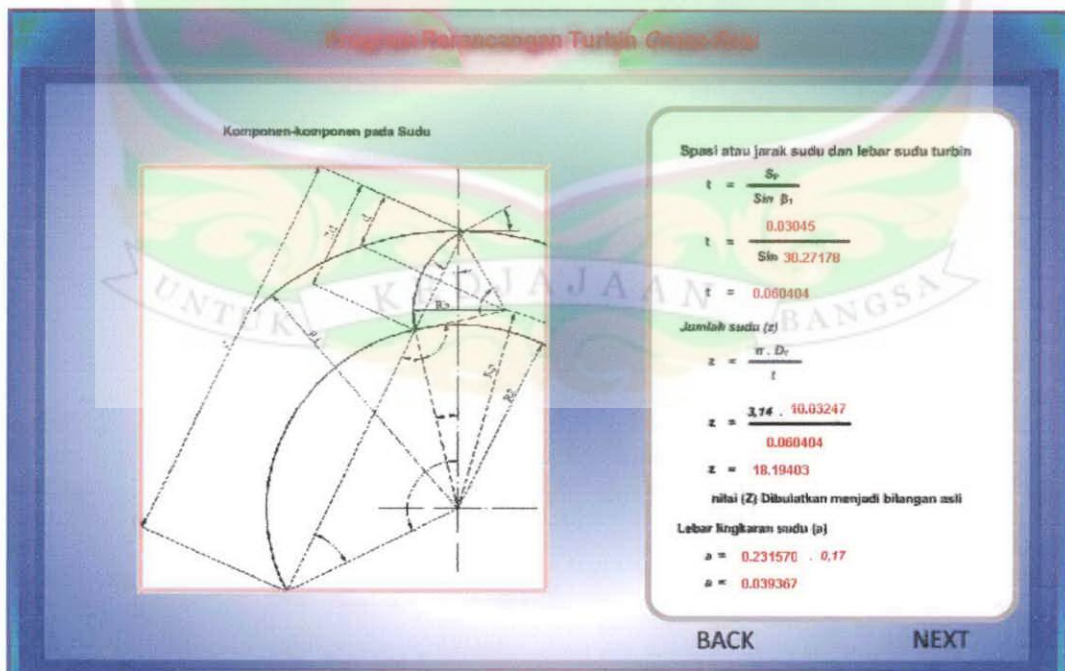
Gambar 4.12 Tampilan Perhitungan Pada Sudut Kelengkungan Sudu

- ❖ Tahapan perhitungan jari jari kelengkungan sudu (r_b), dengan menggunakan persamaan 2.45. dan perhitungan jari-jari lingkaran pitch (r_p), dengan menggunakan persamaan 2.46. Dimana jika diameter runner tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.



Gambar 4.13 Tampilan Perhitungan Jari-Jari Kelengkungan Sudu

- ❖ Tahapan perhitungan jarak antar sudu (t), dengan menggunakan persamaan 2.14, perhitungan jumlah sudu (z), dengan menggunakan persamaan 2.15. dan lebar lingkaran sudu (a), dengan menggunakan persamaan 2.25. Dimana jika diameter runner tidak diinputkan, maka hasil perhitungan ini akan bernilai 0.



Gambar 4.14 Tampilan Perhitungan Jarak Sudu

UNIVERSITAS ANDALAS

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi

Kampus Pajadarian, Padang, Sumatera Barat

Telp. (075) 7600000

Fax. (075) 7600000

E-mail: info@andalas.ac.id

www.andalas.ac.id

UNIVERSITAS ANDALAS

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi

Kampus Pajadarian, Padang, Sumatera Barat

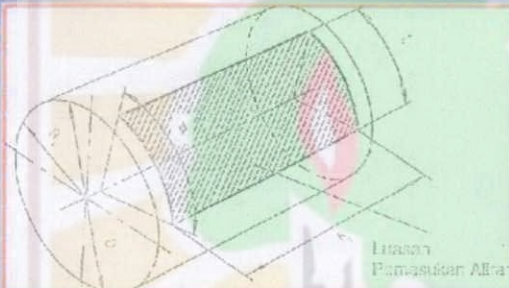
Telp. (075) 7600000

Fax. (075) 7600000

E-mail: info@andalas.ac.id

www.andalas.ac.id

Panjang Busur dan Luas Pemasukan.



Luasan Pemasukan Aliran

Panjang Busur dan Luas Pemasukan

Panjang busur (L)

$$L = \frac{2R \cdot \pi \cdot \theta}{360}$$

$$L = \frac{2 \cdot 0,175 \cdot 3,14 \cdot 13,31472}{360}$$

$$L = 0,040646 \text{ m}$$

Luas pemasukan aliran (A)

$$A = b_s \cdot L$$

$$A = 0,338339 \cdot 0,040646$$

$$A = 0,013752 \text{ m}$$

Kecepatan aliran, tegak lurus terhadap luasan pemasukan (v)

$$V = Q \cdot A$$

$$V = 0,3 \cdot 0,013752$$

$$V = 21,81432 \text{ m/s}$$

BACK

Gambar 4.15 Tampilan Perhitungan Panjang Busur dan Luas Pemasukan



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dengan dibuatnya program dan animasi dari turbin *Cross Flow* maka diharapkan akan mempermudah pemahaman mengenai prinsip kerja komponen utama turbin *Cross Flow* yang sebenarnya. Hasil yang diperoleh dari perhitungan dengan menggunakan program tidak jauh berbeda jika dibandingkan dengan hasil perhitungan secara manual yaitu :

1. Pada perancangan perhitungan manual dari turbin *Cross Flow* ini direncanakan ditempatkan pada kondisi *debit* air $0,35 \text{ m/s}^3$ dengan tinggi air jatuh sebesar 45 m. Dengan diameter *runner* 0,15 m dan efisiensi turbin sebesar 0,76. Dengan menghasilkan potensi tenaga air turbin yang dapat membangkitkan energi listrik dengan daya efektif sebesar 117,426 kWatt, putaran poros sebesar 891,44 rpm dan kecepatan spesifik sebesar 96,64 rpm.
2. Pada perancangan dinding *runner* didapat tebal pancara air sebesar 0,0261 m, tebal pancaran didalam *runner* sebesar 0,024 m, dan panjang *runner* sebesar 0,406 m.
3. Jumlah sudu yang digunakan adalah 18 buah dengan jari-jari kelengkungan sudu sebesar 0,048 m.
4. Panjang busur pemasukan yang didapat sebesar 0,0356 m, luas pemasukan $0,016 \text{ m}^2$.

5.2 Saran

Program ini hanya terbatas untuk penggunaan pada jenis turbin aliran silang saja. Selain itu, spesifikasi turbin yang di hitung hanya terbatas untuk beberapa variabel tertentu. Oleh karena itu, program ini masih memiliki kekurangan yang dapat dikembangkan untuk keperluan perancangan jenis turbin lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alex Arte, Ueli Meier, SKAT. 1991. *Seri Memanfaatkan Tenaga Air dalam Skala Kecil Buku 2. Pedoman Rekayasa Tenaga Air*. Jakarta.
- Bachtiar, Asep Neris. 2007. **Perencanaan runner turbin cross flow untuk sistem PLTM di Desa Datar Kecamatan Lembang Jaya Kabupaten Solok**, Jurnal Akademika. ISSN 0854-4336. volume II. nomor 2 . Oktober 2007.
- Bachtiar, Asep Neris. 2007. **Uji efisiensi runner turbin cross flow dengan variasi sudut air masuk sudu (θ)**, Jurnal Momentum. ISSN 1411-4617. volume 4. nomor 2, Agustus 2007
- C. A. Mockmore Professor of Civil Engineering and Fred Merryfield Professor of Civil Engineering. 1949. *Engineering The Banki Water Turbine*, Experiment Station Oregon State System of Higher Education Oregon State College Corvallis Buletin Series No. 25, 1949.
- Dietzel, Fritz, Dakso Sriyono. 1993. *Turbin Pompa dan Kompresor*. Jakarta Erlangga.
- Dr Ingeniero de Minas. 1998. *Layman's Handbook on How to Develop a Small Hydro Site (Second Edition)*, European.
- DTI, Hydropak. 2004. *Concept Design and Analysis of a Packaged Cross Flow Turbine*, Europa.
- European Small Hydropower Association ESHA. 2004. *Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant*, Thematic Network on Small hydropower (TNSHP).
- Putra, Meiki Eru. No.BP : 03 171 024. 2009. *Pembuatan Animasi dan Program Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM)(Studi Kasus PLTM Bayang Sani di Koto Ranah Pesisir Selatan)*. Tugas Akhir Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Andalas Padang.
- The British Hydropower Association. 2005. *A Guide to UK Mini-Hydro Developments*, Version 1.2, 2005.

<http://www.agussuwasono.com/teknologi/mechanical/300-karakteristik-turbin-cross-flow.html>

<http://www.scribd.com/doc/16170595/Optimasi-Perancangan-Runner-Turbin-Cross-Flow>

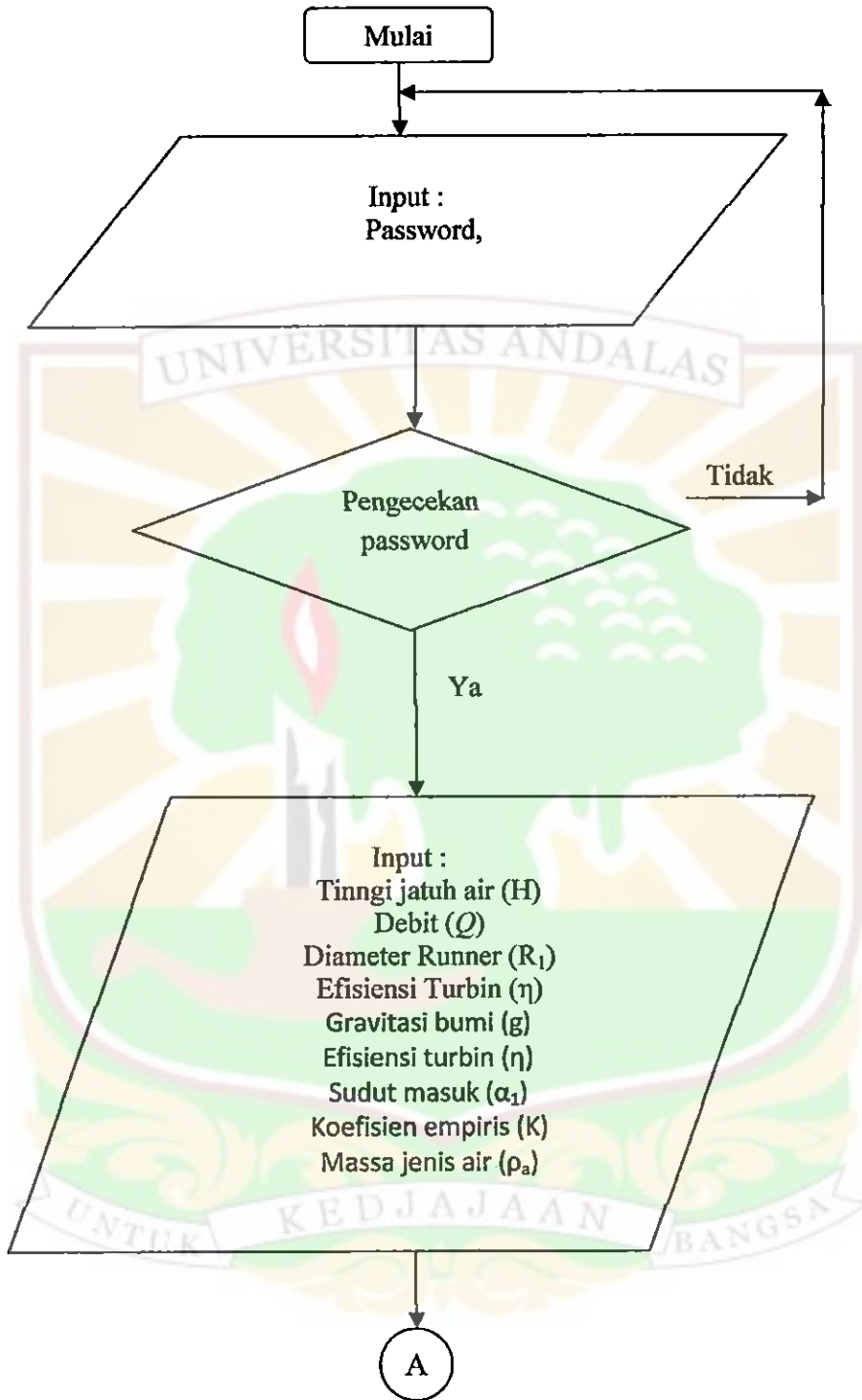
http://en.wikipedia.org/wiki/crossflow_turbine

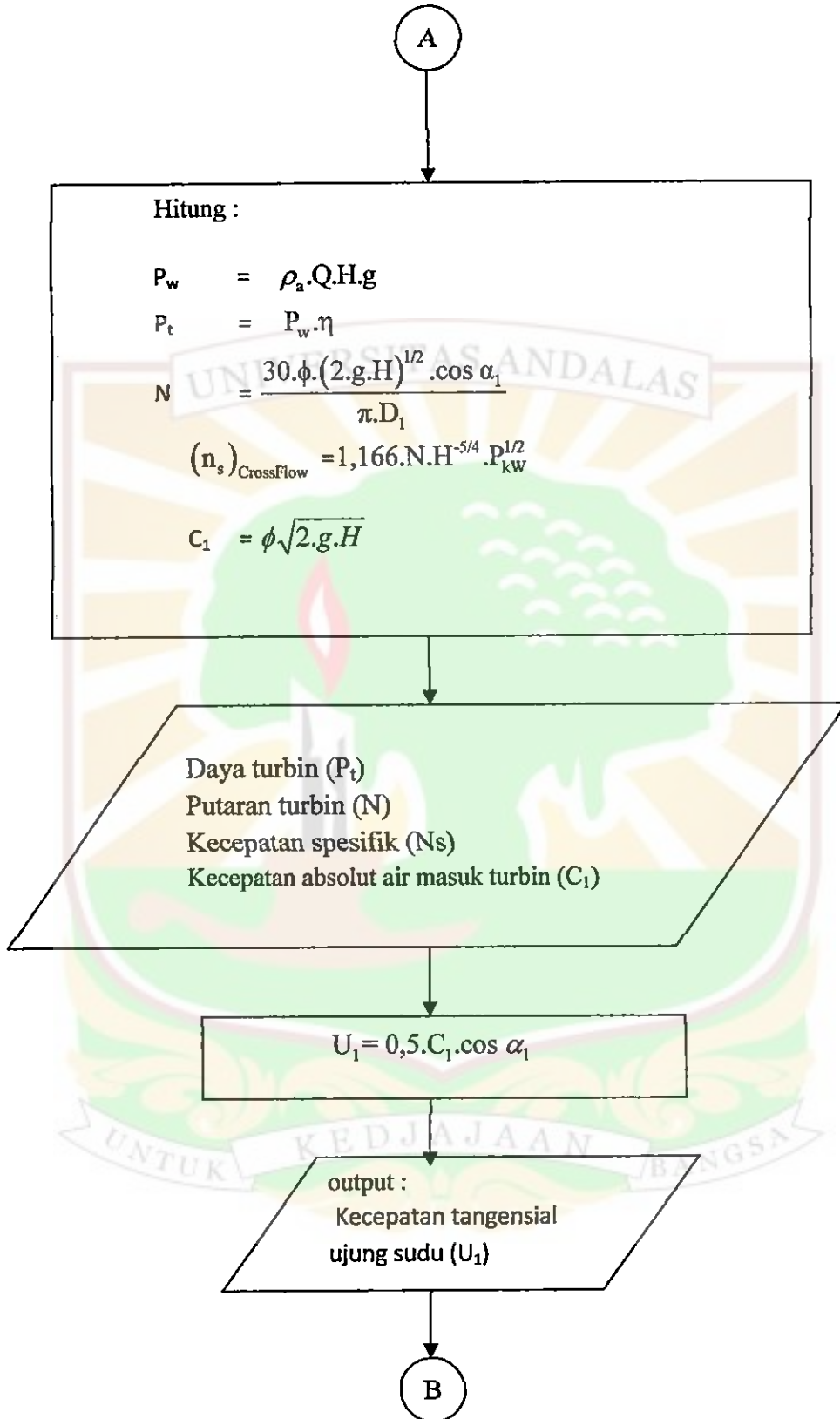


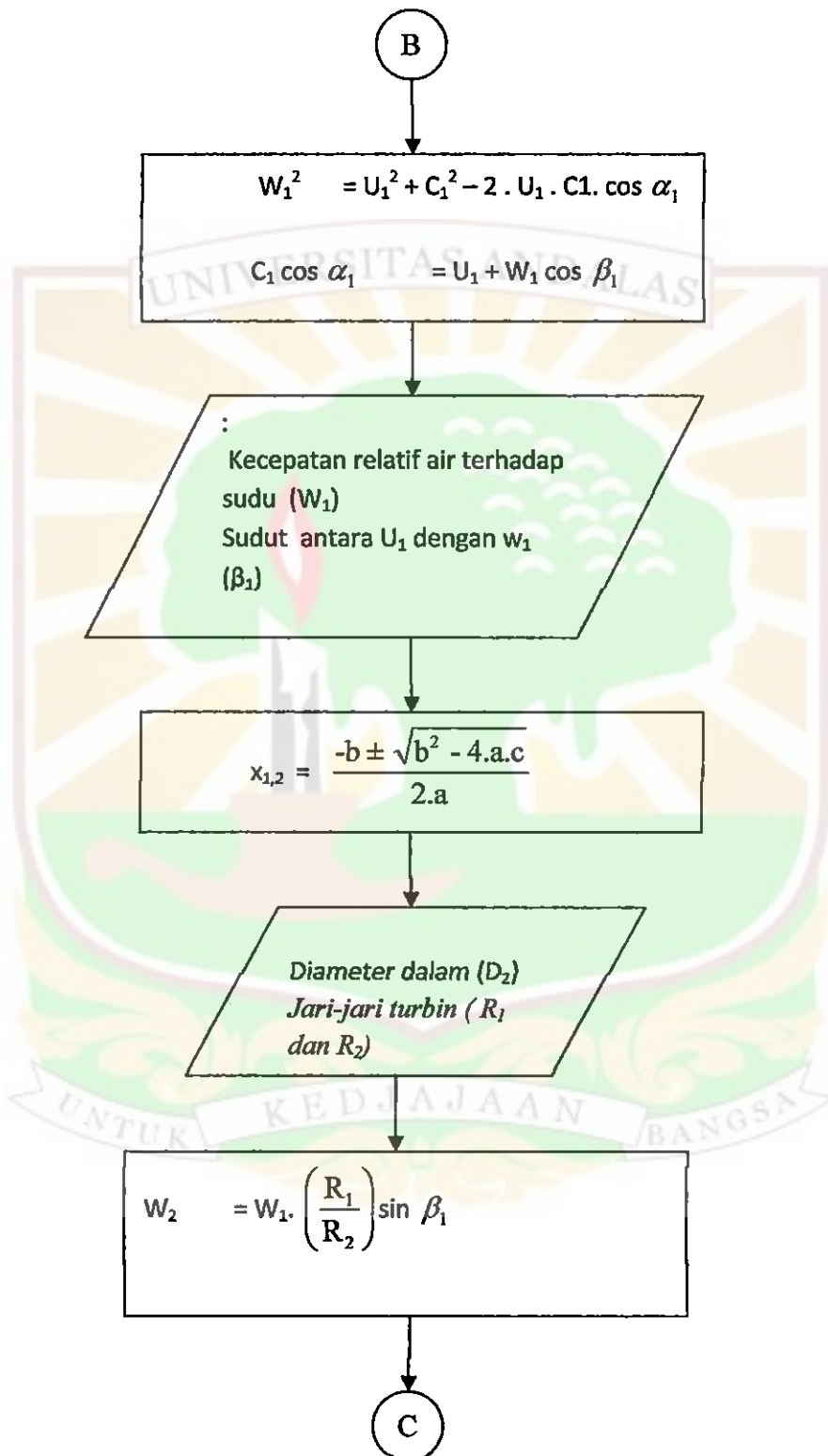


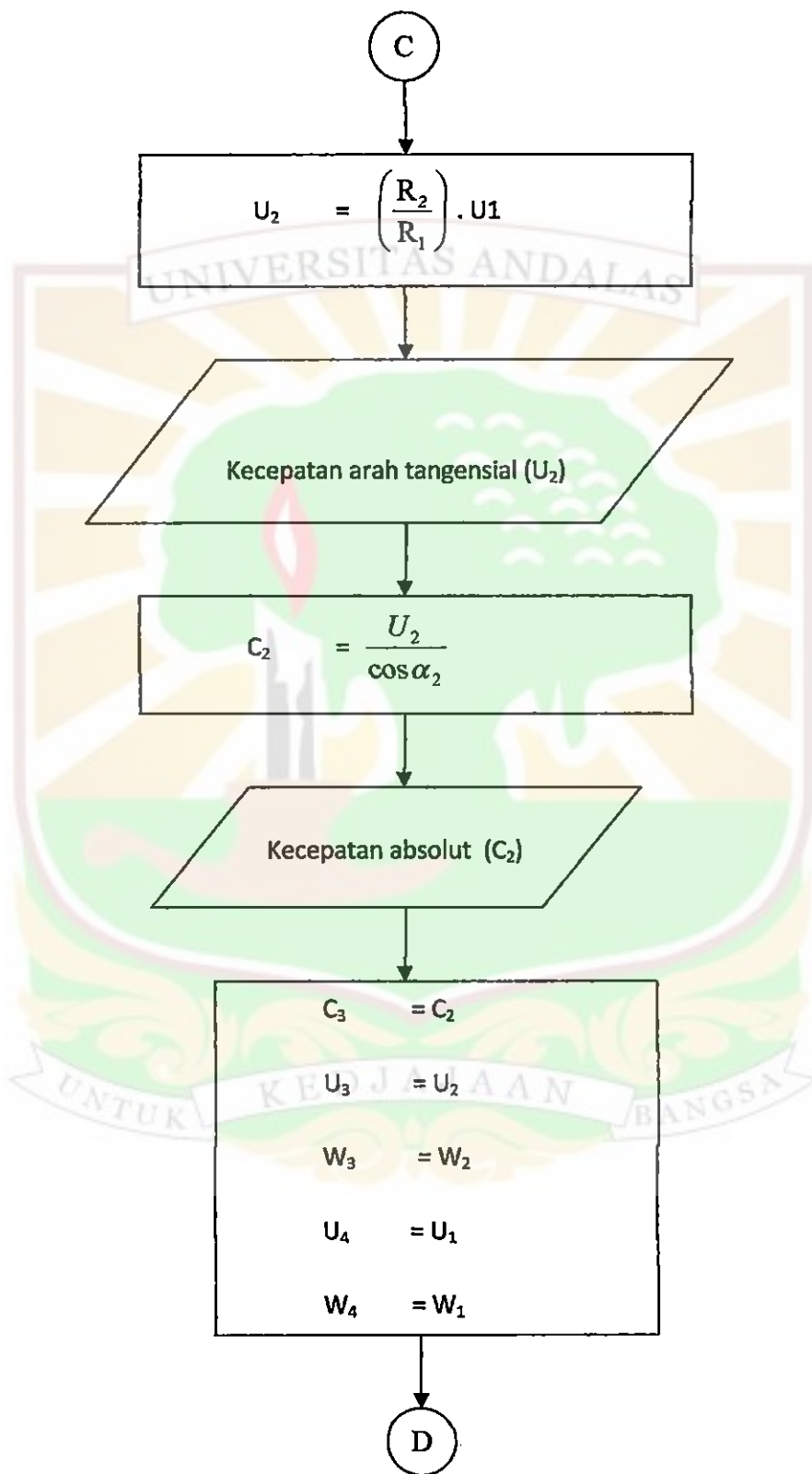
Lampiran A

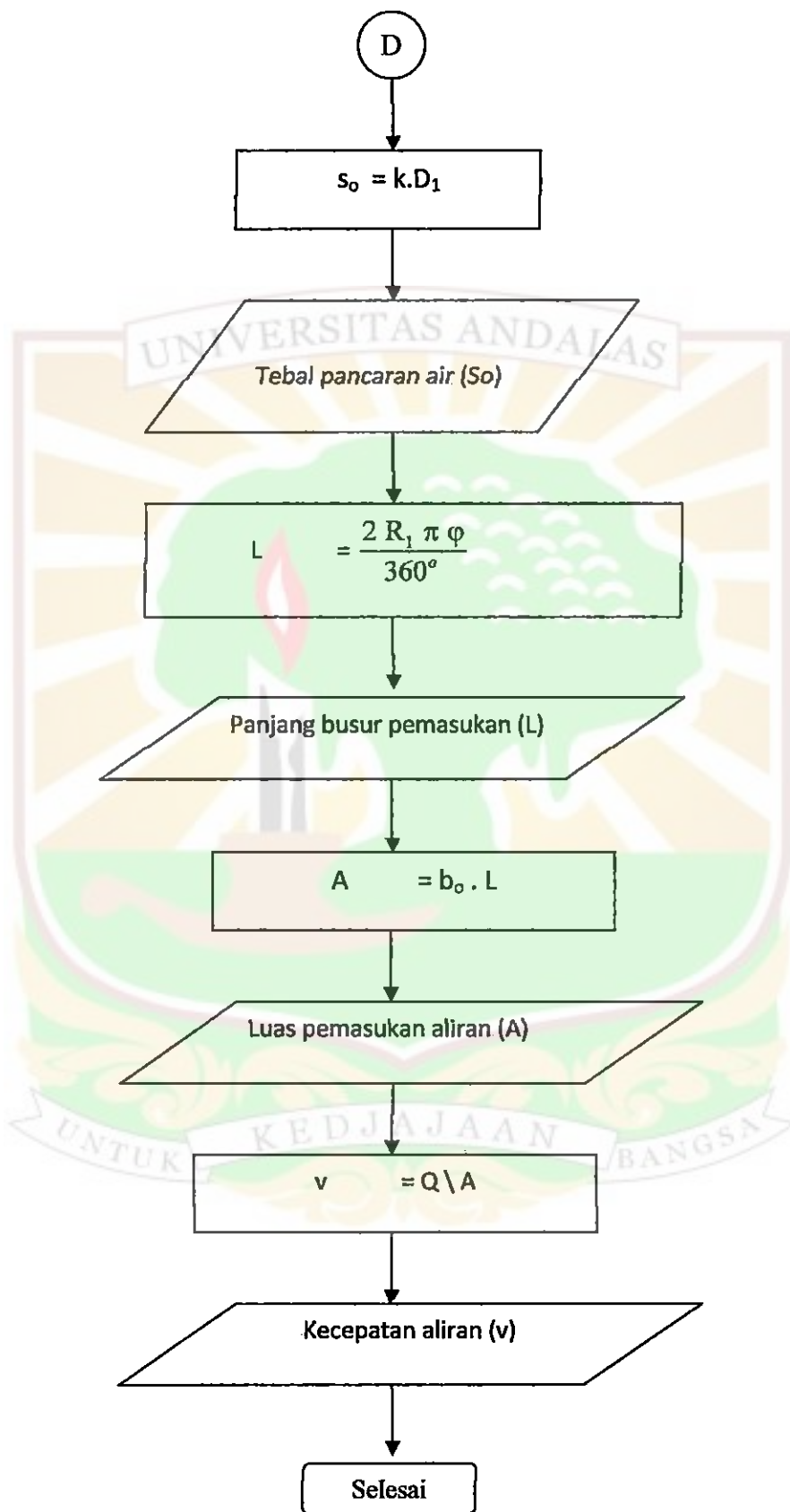
FLOWCHART PROGRAM













Lampiran B

SCRIPT PROGRAM

```
/*----- tinggi----- */

t = new Object();
var a1 = 0;
t.change = function(ubah1){
    a1 = ubah1.target.value;
}
tinggijatuhair.addEventListener("change",t);

prhtgn1 = function (jawab1){
    b1 = a1;
    return b1;
}

/*----- debit----- */

q = new Object();
var a2 = 0.2;
q.change = function(ubah2){
    a2 = ubah2.target.value;
}
debitair.addEventListener("change",q);

prhtgn2 = function (jawab2){
    b2 = a2;
    return b2;
}

/*----- Diameter Runner----- */

d = new Object();
var a3 = 0.00;
d.change = function(ubah3){
    a3 = ubah3.target.value;
}
diameterrunner.addEventListener("change",d);

prhtgn3 = function (jawab3){
    b3 = a3;
    return b3;
}
```

Lampiran B. Script Programl

```
}

/*----- efisiensi ----- */
e = new Object();
var a4b = 0;
e.change = function(ubah4b){
    a4b = ubah4b.target.value;
}
efisiensi.addEventListener("change",e);

prhtgn4b = function (jawab4b){
    b4b = a4b;
    return b4b;
}

/*----- */

step1.onRelease = function(){
    hsl1 = prhtgn1(jawab1);
    hsl2 = prhtgn2(jawab2);
    hsl3 = prhtgn3(jawab3);
    hsl4b = prhtgn4b(jawab4b);
    gotoAndStop(5);
};

/*----- perhitungan daya turbin ----- */

    h1a = hsl1 ;
    h2a = hsl2 ;
    hsl4 = 9.81*1000*h1a*h2a
    hsl5 = hsl4/1000
    hsl6 = hsl5*hsl4b

/*----- */

p = new Object();
var aa6 = hsl6;
p.change = function(ubah6){
    aa6 = ubah6.target.value;
}
hsl6.addEventListener("change",p);
```

Lampiran B. Script Program

```
prhtgn6 = function (jawab6){  
    ccc6 = aa6;  
    return ccc6;  
}
```

```
/*-----*/
```

```
step2.onRelease = function(){  
    hsl6 = prhtgn6(jawab6);
```

```
    gotoAndStop(6);
```

```
};
```

```
/*----- perhitungan putaran poros -----*/
```

```
h1 = hsl1 ;  
h2 = hsl2 ;  
h3 = hsl3 ;  
hsl7 = 2*h1*9.81 ;  
hsl8 = Math.pow(hsl7,0.5);  
hsl9 = h3*3.14  
hsl10 = 30*0.98*0.961*hsl8  
hsl11 = hsl10/hsl9
```

```
/*-----*/
```

```
n = new Object();  
var a11 = hsl11;  
n.change = function(ubah11){  
    a11 = ubah11.target.value;
```

```
}
```

```
hsl11.addEventListener("change",n);
```

```
prhtgn11 = function (jawab11){
```

```
    b11 = a11;  
    return b11;
```

```
}
```

```
/*-----*/
```

```
step3.onRelease = function(){  
    hsl11 = prhtgn11(jawab11);
```

```
    gotoAndStop(7);
```

Lampiran B. Script Programl

```
};  
  
/*----- perhitungan kecepatan spesifik ----- */  
  
    var h6 = hsl6 ;  
    var h11 = hsl11 ;  
    hsl12 = Math.pow(h1a,-1.25);  
    hsl13 = Math.pow(h6,0.5);  
    hsl14 = hsl12*hsl13*h11*1.166  
  
/*----- */  
  
ns = new Object();  
var a14 = hsl14;  
ns.change = function(ubah14){  
    a14 = ubah14.target.value;  
  
}  
hsl14.addEventListener("change",ns);  
  
prhtgn14 = function (jawab14){  
    b14 = a14;  
    return b14;  
}  
  
/*----- */  
  
    step4.onRelease = function(){  
        hsl14 = prhtgn14(jawab14);  
  
        gotoAndStop(8);  
    };  
/*----- perhitungan sudut pada segitiga kecepatan ----- */  
  
    hsl15 = 9.81*2*hsl1;  
    hsl16 = Math.pow(hsl15,0.5);  
    hsl17 = hsl16*0.98  
    hsl18 = hsl17*0.5*0.96  
    hsl19 = Math.pow(hsl18,2);  
    hsl20 = Math.pow(hsl17,2);  
    hsl21 = 2*hsl17*hsl18*0.96  
    hsl22 = hsl19+hsl20-hsl21  
    hsl23 = Math.pow(hsl22,0.5);  
    hsl24 = hsl17*0.96  
    hsl25 = hsl24-hsl18
```

Lampiran B. Script Programl

```
hsl26 = hsl25/hsl23
hslaa = Math.acos(hsl26)
hsl27 = hslaa*180/3.14

/*----- */

bb = new Object();
var a27 = hsl27;
bb.change = function(ubah27){
    a27 = ubah27.target.value;
}
hsl27.addEventListener("change",bb);

prhtgn27 = function (jawab27){
    b27 = a27;
    return b27;
}

/*----- */

step5.onRelease = function(){
    hsl27 = prhtgn27(jawab27);

    gotoAndStop(10);
};
/*----- perhitungan diameter dalam turbin ----- */

hsl28 = 1/hsl26
hsl29 = Math.pow(hsl28,2);
hsl30 = 1-hsl29
hsl31 = Math.sin(hsl27 * Math.PI/180)
hsl32 = Math.pow(hsl31,2);
hsl33 = hsl29*hsl32

/*----- perhitungan rumus ABC ----- */

hsl34 = hsl33*4
hsl35 = Math.pow(hsl30,2);
hsl36 = (hsl35) + (hsl34)
hsl37 = Math.pow(hsl36,0.5)

hsl3g = hsl30+hasi37
hsl38 = 0.87551
hsl39 = hsl38/2

hsl40 = hsl30-hsl37
```

Lampiran B. Script Programl

```
hsl41 = hsl40/2

if (hsl39<1){hsl42=hsl39}

else if(hsl41>1){hsl42=hsl41};

hsl43 = Math.pow(hsl39,0.5)
hsl44 = hsl3/2
hsl45 = hsl44*hsl43
hsl46 = hsl45*2

/*-----lebar rim----- */

hsl47 = hsl46*0.17

/*-----komp.tngkt I----- */

hsl48a = hsl44/hsl45
hsl48 = hsl48a*hsl31*hsl23
hsl49a = hsl45/hsl44
hsl49 = hsl49a*hsl18
hsl50 = hsl48/hsl49
hslab = Math.atan(hsl50)
hsl51 = hslab*180/3.14
hsl52 = Math.cos(hsl51 * Math.PI/180)
hsl53 = hsl49/hsl52

/*-----komp.tngkt II----- */

hsl54 = hsl17*0.2756

/*-----prncngan didng runner----- */

hsl55 = 0.087*hsl3
hsl56 = (hsl45/hsl44)*0.96126
hsl57 = hsl52*hsl55
hsl58 = hsl57/hsl56

hsl59 = hsl58/2
hsl60 = 90-hsl51
hsl61 = Math.sin(hsl60 * Math.PI/180)
hsl62 = hsl61*hsl45
hsl63 = hsl62*(-1)
hsl64 = hsl63-hsl59

hsl65 = hsl3*0.04985
hsl66 = hsl17*hsl3*0.087
```


Lampiran B. Script Programl

$$\text{hsl67} = \text{hsl2}/\text{hsl66}$$

/*----- perhitungan geomtri sudu----- */

```
hsl68 = hsl27+90
hsl69 = Math.cos(hsl68 * Math.PI/180)
hsl70 = hsl44*hsl45*hsl69*2
hsl71 = Math.pow(hsl44,2)
hsl72 = Math.pow(hsl45,2)
hsl73a = hsl71+hsl72-hsl70
hsl73 = Math.pow(hsl73a,0.5)
hsl74 = Math.sin(hsl68 * Math.PI/180)
hsl75 = hsl45*hsl74
hsl76 = hsl75/hsl73
hslac = Math.asin(hsl76)
hsl77 = hslac*180/3.14

hsl78 = hsl68+hsl77
hsl79 = 180-hsl78

hsl80 = 2*hsl79
hsl81 = 180-hsl80
hsl82 = hsl68-hsl81

hsl83 = Math.sin(hsl82 * Math.PI/180)
hsl84 = hsl83*hsl44
hsl85 = 180-hsl79
hsl86 = Math.sin(hsl85 * Math.PI/180)
hsl87 = 2*hsl86
hsl88 = hsl84/hsl87

hsl89 = hsl77+hsl27
hsl90 = hsl89*2
hsl91 = 180-hsl90

hsl92 = Math.cos(hsl89 * Math.PI/180)
hsl93 = hsl88/hsl92

hsl94 = hsl93*2*hsl44*hsl26
hsl95a = Math.pow(hsl93,2)
hsl95 = hsl95a + hsl71
hsl96 = hsl95-hsl94
hsl97 = Math.pow(hsl96,0.5)
```

Lampiran B. Script Programl

```
/*----- perhitungan spasi / jarak sudu turbin----- */
```

```
hsl98 = Math.sin(hsl27 * Math.PI/180)
hsl99 = hsl55/hsl98
hsl100 = 3.14*hsl3
hsl101 = hsl100/hsl99
hsl102 = 2*3.14*hsl44*hsl82
hsl103 = hsl102/360
hsl104 = hsl103*hsl67
hsl105 = hsl2/hsl104
```

```
/*----- */
```

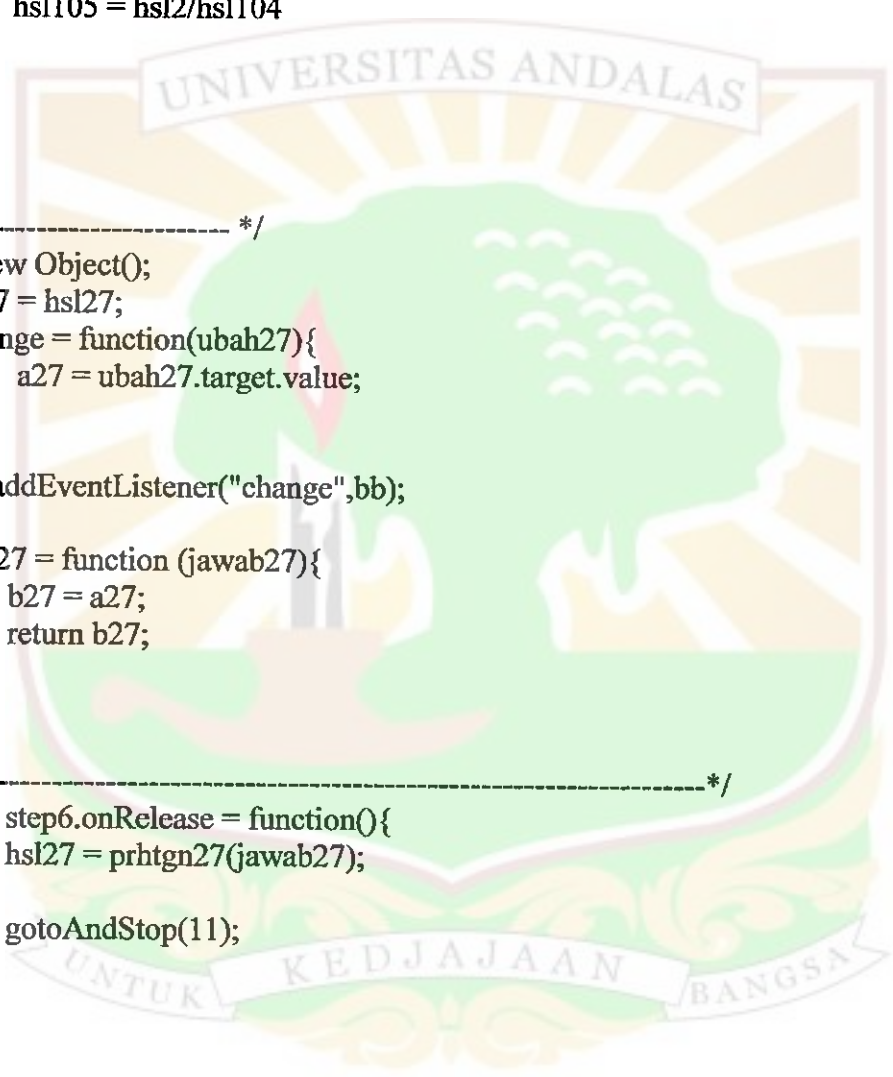
```
bb= new Object();
var a27 = hsl27;
bb.change = function(ubah27){
    a27 = ubah27.target.value;
}
hsl27.addEventListener("change",bb);
```

```
prhtgn27 = function (jawab27){
    b27 = a27;
    return b27;
}
```

```
/*----- */
```

```
step6.onRelease = function(){
    hsl27 = prhtgn27(jawab27);
```

```
gotoAndStop(11);
};
```



CURRICULUM VITAE



Ali Upan

Jl. M.Hatta No. 20
PASAR BARU – PAUH
Padang - Sumbar
Mobile Phone : 085263933313
E-mail: ali_upan@yahoo.com

PERSONAL INFORMATION

Name : **Ali Upan**
Sex : Male
Place / Date of Birth : Sulit Air / September 24th, 1987
Age : 23
Marital Status : Unmarried
Health Condition : Excellent
Hobbies : Football, Singing, Playing Games

BACKGROUND OF EDUCATION

- 2005 – 2010 : Mechanical Engineering Department-Engineering Faculty of Andalas University Padang
- 2001 – 2004 : MA.Muhammadiyah Sulit Air Kab. Solok
- 1998 – 2001 : MTsN Muhammadiyah Sulit Air Kab. Solok
- 1992 – 1998 : SDN 60 Sangir Solok Selatan

SPECIAL SKILLS

- Various skills in Konversion of mechanical engineering discipline
- Interpersonal skills development.

LANGUAGE AND COMPUTER ABILITY

- **Computer:**
 - Familiar with Microsoft Office (Microsoft Word, Excel, PowerPoint)
 - Familiar with AutoCAD
 - Familiar with design software (Macromedia Flash, Adobe Photoshop, ect)
- **Language:**
 - English (oral and written : Good)
 - Indonesian (oral and written : native)

ACADEMIC EXPERIENCES

- **Practices Instructure:**
 - Basic Phenomenom of Machine (2009-2010), Energi Konversion Laboratory, Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty of Andalas University
 - Energy System (2009 -2010), Energi Konversion Laboratory, Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty of Andalas University

- **Assistant in Laboratory:**

- Assistant of Energi Konversion Laboratory, Engineering Faculty of Andalas University (2009 – 2010)

ORGANIZATIONAL EXPERIENCES

- Member of Himpunan Mahasiswa Mesin Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas (2005 - 2010)
- Member of Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Andalas (2005 – 2010)
- Member of IPPSA (Ikatan Pemuda & Pelajar Sulit Air) PADANG (2006 – 2010)
- Member of UKM Neotelemetri Universitas Andalas (2007 - 2010)

Padang , desember 26, 2010

Ali Upan

